



**Flávio Rafael Antunes
Santiago**

**Avaliação do Potencial Eólico de uma Empresa do
Ramo Alimentar**



Universidade de Aveiro
2010

Departamento de Economia, Gestão e Engenharia
Industrial

**Flávio Rafael Antunes
Santiago**

**Avaliação do Potencial Eólico de uma Empresa do
Ramo Alimentar**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Doutor António José Barbosa Samagaio, Professor Associado do Departamento de Ambiente da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutor Joaquim José Borges Gouveia

professor catedrático do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Álvaro Henrique Rodrigues

professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio

professor associado do Departamento de Ambiente da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador Prof. Doutor António Samagaio por todo o apoio e conselhos concedidos para a realização deste trabalho.

Como não podia deixar de ser, quero agradecer também aos meus pais e irmã por todo o auxílio, motivação, compreensão e esforço prestado ao longo de todo o meu percurso académico.

De uma forma diferente mas contudo ainda muito especial, quero agradecer a todos os meus amigos e namorada o apoio e incentivo que me foi dado ao longo deste trabalho.

A todos, o meu sincero obrigado!

palavras-chave

Potencial Eólico, Energia, Auto-Sustentável, Densidade de potência, Medições.

resumo

O presente trabalho propõe-se Avaliar o Potencial Eólico de uma empresa do ramo alimentar, situada junto ao Porto de Pescas de Aveiro que sendo uma grande consumidora de energia, pretende tornar-se auto-sustentável. A avaliação do potencial eólico foi elaborada através do cálculo da densidade de potência do vento após a realização de várias medições da velocidade do vento com auxílio do anemómetro cedido pelo empresa. Após as medições da da velocidade do vento realizadas durante vários meses, estimou-se então a densidade de potência associada a esse vento.

keywords

Wind Potential, Power, Self-Sustainable, Power density, Measurements

abstract

This study proposes to evaluate the wind potential of a company's food business, located near the fishing port of Aveiro, being a big energy consumer, wants to become self-sustaining. The assessment of wind potential was developed by calculating the power density of the wind after carrying out several measurements of wind speed anemometer with aid given by the company. After the measurements of wind speed taken during several months, it was estimated then the power density associated with this wind.

Índice

Índice de Tabelas.....	4
Índice de Figuras	5
Capítulo 1 – Introdução.....	6
Capítulo 2 - Energia Eólica.....	7
2.1 – Vento	7
2.1.1 Factores que afectam o regime dos ventos	7
2.1.1.1 - Variação da velocidade do vento com a altura	7
2.1.1.2 - Influência da rugosidade do terreno.....	8
2.1.1.3 - Influência dos obstáculos.....	8
2.1.1.4 - Influência do relevo.....	9
2.1.1.5 - Influência do efeito de esteira	9
2.2 - Impactes ambientais da energia eólica.....	10
2.2.1 - Emissão de ruído	10
2.2.2 - Impacte Visual	12
2.2.3 - Impacte sobre a fauna	13
2.2.4 - Emissão de gases.....	13
2.3 – Tecnologia	15
2.3.1 – Tipo de turbinas.....	16
2.3.1.1 – Turbinas de rotor de eixo horizontal.....	16
2.3.1.2 – Turbinas de rotor de eixo vertical	17
2.3.2 – Constituição de um aerogerador.....	18
2.3.2.1 – Rotor.....	19
2.3.2.2 – Cabina.....	19
2.3.2.3 – Gerador	19
2.3.2.4 - Torre	20
2.4 – Vantagens e desvantagens da produção de electricidade a partir da energia eólica.....	20
2.5 – Sector eólico nacional	22
2.6 – Energia eólica no mundo.....	24

2.7 - Avaliação do potencial eólico da empresa em estudo	25
2.7.1 - Anemómetro utilizado	27
2.7.2 - Calibração do anemómetro	27
2.7.3 - Medição da velocidade do vento	28
2.7.4 – Cálculo do potencial eólico	30
2.7.5 - Escolha do Aerogerador	32
2.8. – Armazenamento da Energia Eólica.....	33
2.9. – Impacto da integração da geração eólica nas redes eléctricas	35
2.9.1 – Impactos mais frequentes nas redes.....	35
2.9.1.1. - Capacidade de resistência a cavas de tensão (Ride through defaults).....	35
2.9.1.2. - Variação da tensão em regime estacionário.....	36
2.9.1.3. – Congestionamentos	36
2.9.1.4. – Qualidade da onda-variação de tensão.....	38
2.9.1.5. – Qualidade da onda-flicker	38
2.9.1.6. – Distorção harmónica	38
Capítulo 3 – Outros sistemas de produção de energia a aplicar ao Caso de Estudo: Energia Solar	39
3.1 – Energia Solar.....	39
3.2. - Vantagens e Desvantagens da Energia Solar	40
3.3. - Tecnologia Solar em Portugal	41
3.3.1. – Energia Solar Térmica	41
3.3.2. - <i>Energia Solar fotovoltaica</i>	43
3.3.2.1. - Sistemas Fotovoltaicos Isolados.....	44
3.3.2.2. – Sistemas Fotovoltaicos Interligados	44
3.4 – Aplicação de um Sistema Solar Fotovoltaico à empresa em estudo.....	46
3.4.1 – Escolha dos painéis solares	46
3.4.2 - Projecção de produção	46
3.4.3 - O que fazer com a energia produzida	47
Capítulo 4 – Outros sistemas de produção de energia a aplicar à empresa em Estudo:	
Cogeração/Trigeração	47
4.1. - Cogeração/Trigeração	47
4.1.1. - Conceitos e Tecnologia.....	48
4.1.1.1. - Sistema de Cogeração	49
4.1.1.2. - Sistema de Trigeração	49

4.2. – Aplicação de um Sistema de Cogeração/Trigeração à empresa em estudo	52
Capítulo 5 - Conclusão.....	61
Capítulo 6 - Referências Bibliográficas.....	63

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características do aparelho utilizado para efectuar as medições do vento	27
Tabela 2 - Velocidades do vento médias da empresa em estudo segundo Surface Meteorology and Solar Energy. A renewable energy resource web site (release 6.0).....	30
Tabela 3 - Câmaras frigoríficas com temperaturas superiores a 2°C que serão alimentadas pela central de Cogeração	52
Tabela 4 - Áreas com temperaturas superiores a 12°C que serão alimentadas pela central de Cogeração.....	53

Índice de Figuras

Figura 1 - Variação da velocidade do vento com a altura acima do solo.....	7
Figura 2 - Efeito do obstáculo sobre os ventos, em função da sua altura	9
Figura 3 - Nível sonoro da emissão (propagação ao ar livre).....	11
Figura 4 - Emissões de dióxido de carbono.....	14
Figura 5 - Emissão de várias tecnologias de produção de energia eléctrica.....	15
Figura 6 - Direcção do vento para turbinas upwind e downwind.....	17
Figura 7 - Componentes de um aerogerador de eixo horizontal.....	19
Figura 8 - Potência total instalada no mundo entre 2001 e 2010	24
Figura 9 - Efeito da incerteza do anemómetro na energia do vento	29
Figura 10 - Curva de potência de quatro aerogeradores.....	32
Figura 11 - Esquema representativo do ciclo de Cogeração/Trigeração	48
Figura 12 - Esquema representativo do princípio da Cogeração	49
Figura 13 - Esquema representativo do princípio da Trigeração	50
Figura 14 - Representação esquemática de um sistema de trigeração utilizando um motor de combustão interna para produção de energia	51

Capítulo 1 – Introdução

As actuais crises energéticas obrigam-nos cada vez mais a apostar em energias renováveis, diversos estudos realizados nos últimos anos têm apontado as implicações sócio-ambientais do consumo de energia. As fontes renováveis de energia são apresentadas como a principal alternativa para responder à procura da sociedade no que respeita à qualidade, segurança e redução dos danos ambientais.

A energia eólica, sendo gratuita, apresenta-se como uma das mais promissoras fontes renováveis de energia constituindo por isso um caso de estudo. A geração de electricidade a partir de aerogeradores é uma forma de aproveitar a energia contida no vento. Estima-se que existe um enorme potencial para o aproveitamento eólico no sector doméstico/industrial, não apenas para satisfazer a procura de energia, como também para produzir energia eléctrica descentralizada, e assim reduzir a emissão de gases de efeito estufa inerentes à produção de energia eléctrica a partir de centrais termoeléctricas.

O levantamento do potencial eólico com qualidade é um dos passos iniciais e principais para quantificar o recurso energético e verificar se ele apresenta condições apropriadas para a implantação de uma turbina eólica. A indústria eólica depende por isso de medições de qualidade, principalmente dos dados de velocidade do vento. Neste contexto, os anemómetros, sendo o instrumento de medição da velocidade do vento mais utilizado na indústria eólica, são de elevada importância na prospecção eólica. Existem diversos tipos de anemómetros: anemómetros de copos, anemómetros tipo hélice e anemómetros sónicos [1]. Através da velocidade medida pelo anemómetro é possível recolher informações que são processadas estatisticamente obtendo-se velocidades médias, máximas, mínimas, desvios padrão, intensidade de turbulência e distribuição de velocidade. Essas informações permitem determinar a energia contida no vento, P_D , denominada densidade de potência (W/m^2).

Em parques eólicos, para determinar o perfil de velocidade e poder extrapolar a velocidade na altura da turbina são instalados dois anemómetros a diferentes alturas. A qualidade dos resultados obtidos está directamente relacionada com a qualidade dos anemómetros utilizados, sendo a calibração do anemómetro o principal mecanismo de confiança da sua correcta operação [1].

Deste modo, com este trabalho pretende-se estimar o potencial de aproveitamento da energia eólica numa empresa do ramo alimentar situada no Porto de Pescas de Aveiro, através de medições da velocidade do vento efectuadas com o auxílio de um anemómetro tipo hélice fornecido pela empresa e devidamente calibrado.

Capítulo 2 - Energia Eólica

2.1 – Vento

O Vento tem origem no desigual aquecimento da atmosfera pelo sol, associado às irregularidades da superfície terrestre e ao movimento de rotação da Terra.

2.1.1 Factores que afectam o regime dos ventos

A velocidade do vento pode ser significativamente afectada em curtas distâncias por diversos factores. Assim sendo, antes da instalação de turbinas eólicas num determinado local, é aconselhável fazer-se uma avaliação do local de modo a identificar todos os factores que terão influência no regime dos ventos desse local. Entre os principais factores de influência no regime dos ventos destacam-se:

2.1.1.1 - Variação da velocidade do vento com a altura

O deslocamento do ar sobre a superfície da terra forma uma camada limite que se estende a grandes alturas, onde o escoamento no seu interior é feito de modo turbulento. Uma vez que a altura das turbinas eólicas não ultrapassa a camada limite é importante conhecer o perfil da velocidade do vento ao longo de uma secção transversal, ou seja, o valor da velocidade em relação à altura.

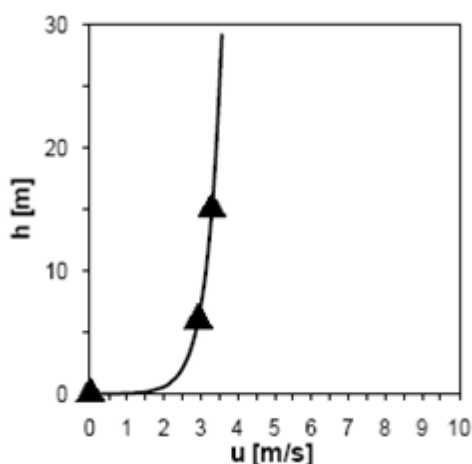


Figura 1 - Variação da velocidade do vento com a altura acima do solo [2].

2.1.1.2 - Influência da rugosidade do terreno

O vento é alvo de alguns elementos que afectam o seu valor, direcção e sentido, podendo ainda causar pequenas turbulências na superfície. Estes elementos são constituídos por árvores, arbustos, vegetação rasteira e pequenas construções sobre a superfície do solo que oferecem resistência à passagem do vento. Deste modo, a rugosidade de uma determinada área é fornecida pela distribuição dos seus elementos, sendo que quanto mais densa e mais alta for a sua formação, maior será a rugosidade, ou seja, maior será a dificuldade para o vento se deslocar.

2.1.1.3 - Influência dos obstáculos

Os obstáculos são elementos de dimensões conhecidas que podem causar uma redução na velocidade do vento e produzem o chamado efeito de sombreamento.

Os obstáculos, para além de obstruírem o movimento das partículas de ar, modificam a distribuição de velocidades. Elementos como formações rochosas, morros, construções civis, torres não porosas e agrupamento denso de árvores de grande altura podem ser considerados obstáculos caso a sua distância em relação ao ponto de observação seja pequena.

O escoamento é influenciado por vários factores, como a forma dos obstáculos, a distância entre eles, a sua porosidade, etc. Assim, uma influência quantitativa dos obstáculos apresenta perdas significativas a nível energético devido a mudanças de direcção dos ventos ou a turbulências. No estudo quantitativo da influência dos obstáculos, estes são considerados como "caixas" com secção transversal rectangular, no qual deve ser considerado em relação ao ponto de interesse, as suas dimensões e a sua porosidade.

A perturbação dos obstáculos está directamente relacionada com as suas dimensões, principalmente com a sua altura. A área influenciada pela presença de um obstáculo pode estender-se por até três vezes a sua altura, no sentido vertical, e até quarenta vezes essa mesma altura, no sentido horizontal, na direcção do vento.

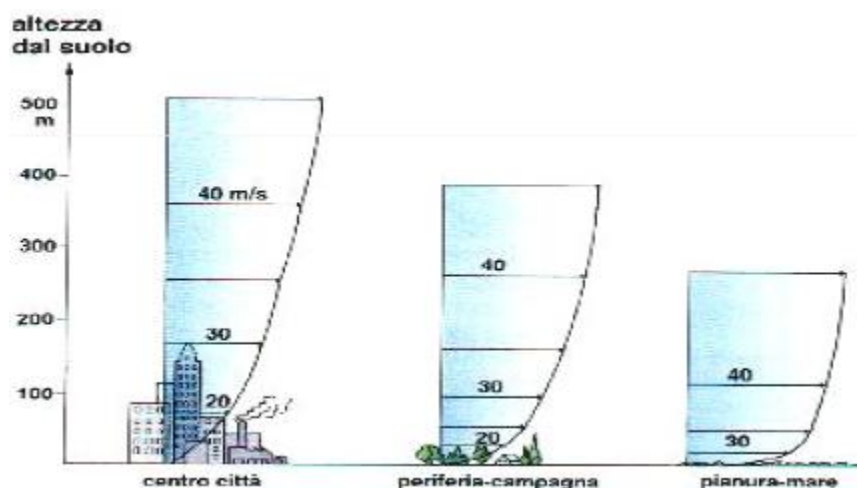


Figura 2 - Efeito do obstáculo sobre os ventos, em função da sua altura [3]

2.1.1.4 - Influência do relevo

À semelhança da rugosidade e dos obstáculos o relevo também se apresenta como uma característica importante para o regime do vento. Aquando da presença de uma colina pode-se verificar, dependendo da sua geometria, um aumento na velocidade do vento e uma considerável mudança de direcção. Outras zonas geográficas como vales e montanhas também influenciam o regime do vento.

2.1.1.5 - Influência do efeito de esteira

Outro aspecto que afecta o regime dos ventos é o designado efeito de esteira. Este consiste na perturbação na parte posterior do aerogerador em virtude da passagem do vento, isto porque o vento resultante da energia mecânica aproveitada pela turbina eólica apresenta-se com um conteúdo energético muito inferior, muito turbulento e abrandado em relação ao vento incidente. É por esta razão que, por exemplo, a instalação das turbinas eólicas no interior de um parque eólico tem de ser efectuada de modo criterioso. A fim de reduzir este efeito é efectuado a separação entre aerogeradores de 5 a 9 diâmetros do rotor na direcção dos ventos dominantes e de 3 a 5 diâmetros nas direcções perpendiculares aos ventos dominantes. As perdas típicas de energia devido a este efeito são de cerca de 5%.

2.2 - Impactes ambientais da energia eólica

Embora os parques eólicos tenham pequeno impacto sobre o ambiente quando comparados com as centrais convencionais, há alguns aspectos a considerar como sejam o ruído provocado pela deslocação das pás, o impacto visual na paisagem, e o impacto sobre a fauna. Em muitos casos estão localizados em áreas com estatuto de protecção, porque esses locais são aqueles em que as condições de vento são melhores (a velocidade para que o aerogerador funcione tem de ser superior a 9 Km/h). Nestas zonas o vento é muito incómodo para as pessoas e portanto para o desenvolvimento da maioria das actividades humanas, daí que o património natural subsista sem as alterações que a actividade humana lhe introduziria se ali pudesse habitar.

2.2.1 - Emissão de ruído

A instalação e exploração de um sistema eólico é susceptível de induzir um impacto ambiental sonoro, como consequência do movimento giratório das suas pás. Contudo, o desenvolvimento tecnológico nos últimos anos, juntamente com as novas exigências de um mercado crescente e promissor, promoveu um avanço significativo na diminuição dos níveis de ruído produzido pelas turbinas eólicas. O ruído gerado pelo normal funcionamento dos aerogeradores que constituem um parque eólico tem por base:

- Uma caracterização do ambiente sonoro existente na área envolvente do parque, antes da instalação dos aerogeradores;
- Uma análise acústica previsional do ruído que será observada nos mesmos locais durante o pleno funcionamento do empreendimento.

A avaliação do ruído terá em conta as características da potência dos diferentes aerogeradores, a sua localização espacial e as características topográficas dos terrenos. As potências das máquinas determinam as suas emissões sonoras, a sua localização e a orografia da zona determinarão a propagação acústica e o estabelecimento dos campos sonoros nos receptores eventualmente existentes [4].

A origem do ruído das turbinas eólicas é proveniente da sua acção mecânica e aerodinâmica.

O principal responsável pelo ruído mecânico provocado pelas turbinas é a caixa de engrenagens, onde a rotação das pás do gerador é multiplicada. O conjunto de engrenagens funciona na faixa de 1000 a 1500 rpm onde toda a vibração da caixa multiplicadora é transmitida para as paredes da cabina, onde esta é fixada. A própria torre pode contribuir para o ruído. Relativamente aos geradores utilizados, a tecnologia convencional emprega geradores que necessitam de uma elevada rotação para funcionarem, contribuindo assim para níveis de ruído elevados. Com a baixa rotação da hélice comparada à rotação do gerador existe a necessidade de apresentar um sistema de engrenagens para multiplicar a rotação necessária no gerador.

Contudo, existe um outro tipo de tecnologia utilizada em turbinas eólicas, que consiste no uso de um gerador eléctrico multipolo conectado directamente ao eixo das pás. A vantagem desse sistema de geração traduz-se no facto de dispensar o sistema de engrenagens para multiplicação de velocidade, uma vez que este gerador funciona também em baixas rotações. Assim, sem a principal fonte de ruído presente nos sistemas convencionais, as turbinas que empregam o sistema multipolo de geração de energia eléctrica são significativamente mais silenciosas. O ruído aerodinâmico é uma componente influenciada directamente pela velocidade do vento incidente sobre a turbina eólica. Vários estudos continuam a ser realizados a este nível, no que concerne à forma das pás e mesmo da própria torre, procurando assim um máximo aproveitamento aerodinâmico com redução de ruído.

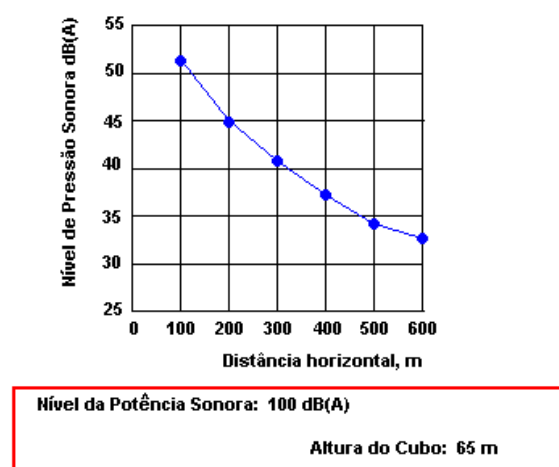


Figura 3 - Nível sonoro da emissão (propagação ao ar livre) [5]

A Figura 3 mostra o nível sonoro da emissão das turbinas eólicas . Como se pode observar o nível de ruído apresenta valores compreendidos entre 52 e 33 dB, o que nos permite afirmar que estas turbinas são na sua maioria barulhentas. Os ruídos emitidos pelos aerogeradores decrescem entre os 50dB junto ao aerogerador e os 35dB a uma distância de 450m. Os efeitos fisiológicos sobre o sistema auditivo e a afectação de diferentes funções orgânicas apenas são sentidos a partir dos 65dB. No entanto, para valores superiores aos 30dB podem surgir efeitos psíquicos sobre o homem, sendo o nível de ruído recomendável inferior a 40dB. O ruído de 40dB corresponde a uma distância dos aerogeradores de 200m, que é a distância entre aerogeradores e habitações respeitada na Europa [6].

Muito esforço foi feito desde 1995 no desenvolvimento de uma geração de turbinas eólicas agora disponíveis no mercado para tornar possível uma significativa redução dos níveis de ruído nas turbinas eólicas.

2.2.2 - Impacte Visual

Embora à energia eólica estejam associados benefícios ambientais significativos do ponto de vista da emissão de substâncias nocivas à atmosfera, existem outros aspectos ligados à preservação do ambiente que não podem ser negligenciados. É indispensável que os projectos sejam adequadamente integrados na paisagem e desenvolvidos em colaboração com as comunidades locais, para manter o apoio da opinião pública a esta forma de energia. O impacto visual das turbinas é uma questão de gosto pessoal e por isso subjectivo, há quem considere as turbinas como um símbolo de energia limpa, sendo que estas são sempre bem-vindas e que se integram harmoniosamente na paisagem e há quem considere a sua presença intrusiva. Vale a pena mencionar que os postes que suportam as linhas de transporte de energia, e que existem um pouco por toda a parte, são no mínimo igualmente intrusivos. Também, é de destacar o sombreamento causado pela sombra de um aerogerador em rotação, originando variações de intensidade luminosa de frequência num local, causando uma impressão visual. Contudo, os efeitos do impacto visual têm sido minimizados, principalmente, com a consciencialização da população local sobre a geração eólica. Através de audiências públicas, artigos e publicidade, a população local passa a conhecer melhor toda a tecnologia, sendo que após o conhecimento dos efeitos positivos da energia eólica, os índices de aceitação melhoram consideravelmente.

2.2.3 - Impacte sobre a fauna

A localização de aerogeradores ou parques eólicos pode de certa forma afectar a fauna existente, consoante a sua localização estes podem ter impactos negativos, sendo que, quanto mais próximos se encontrarem as turbinas de áreas de alimentação, migração, repouso e ou nidificação de aves maior será a probabilidade destas serem afectadas.

Os impactos causados nas aves podem ser originados pela colisão destas com as estruturas existentes no parque eólico ou então pela perturbação causada pela perda de habitat.

Os estudos são concordantes com o facto dos impactos induzidos sobre as aves serem sem excepção considerados negativos, destacando-se a colisão directa de aves com os aerogeradores, o embate e a electrocussão nas linhas de transporte de energia e a perturbação gerada em áreas de nidificação, alimentação, migração e repouso. Dos estudos realizados conclui-se que a sua mortalidade em grande escala está associada especificamente a zonas de importantes corredores migratórios ou de deslocações diárias muito frequentes e a zonas costeiras de grande abundância de aves e fauna.

De referir que, o pior acontecimento de colisão de pássaros em turbinas eólicas que ocorreu nas proximidades de Tarifa, em Espanha, onde 269 turbinas eólicas foram instaladas (de um total projectado de 2000 turbinas) numa das principais rotas de migração de aves da Europa Ocidental, onde muitos pássaros de inúmeras espécies ameaçadas de extinção morreram em colisões com as turbinas. O director da Agência Espanhola Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) assumiu o erro pronunciando: "O que me ocorreu sobre o facto é que foi um inoportuno lapso de memória. Ninguém pensou nas migrações dos pássaros". Contudo é de realçar que apesar da taxa de mortalidade das aves ser baixa, esta pode ser de extrema importância devido à baixa densidade e taxa anual de reprodução das mesmas.

2.2.4 - Emissão de gases

A energia eólica é um dos mais ecológicos métodos de produção de electricidade, evitando assim a produção directa de poluentes atmosféricos e de gases de efeito de estufa que são gerados por combustíveis fósseis na produção de electricidade. A

American Wind Energy Association (AWEA) desenvolveu um conjunto de estatísticas para quantificar e comparar as emissões da energia do vento com outros combustíveis, com base nos dados recolhidos pelos U.S. Department of Energy's Energy Information Administration (EIA) [5]. De seguida apresentam-se as emissões de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás responsável pelo efeito de estufa e aquecimento global, para os vários combustíveis responsáveis pela produção de electricidade.

Fuel	CO ₂ Emited Per Kilowatt-hour (kWh) Generated (in pounds)	KWh Generated, 1997 (billions)	CO ₂ Emited, Total Generation (billion pounds)
Coal	2.13	1,788	3,807
Natural Gas	1.03	283.6	291
Oil	1.56	77.8	122
U.S. Average Fuel Mix [2]	1.52	3,494	5,313
Wind	--0--	3.4	--0--

Figura 4 - Emissões de dióxido de carbono [7]

Após a observação destes valores pode-se fazer a comparação entre cada unidade (kWh) de energia eléctrica gerada por turbinas eólicas e a mesma energia que seria gerada por uma central convencional de produção de energia eléctrica. Ao realizar essa análise, observa-se que a energia eólica apresenta grandes vantagens na redução de emissão de gases de efeito estufa e na redução da concentração de CO₂ durante a sua operação.

Com o aumento da preocupação com o crescimento dos gases de efeito de estufa, vários programas de eficiência energética foram projectados, mobilizando vários países na busca de soluções para a redução das emissões nos próximos anos. Uma das medidas foi o Protocolo de Quioto, que consiste num tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases de efeito de estufa (GEE), considerados como a principal causa do aquecimento global. Neste, Portugal comprometeu-se a limitar o aumento das suas emissões de GEE em 27%, no período entre 2008-2012, em relação às emissões de 1990 [8].

As preocupações com as consequências futuras das emissões de gases de efeito estufa por parte de vários países do mundo têm criado um ambiente muito favorável ao uso da energia eólica como uma fonte limpa de energia.

Num estudo realizado pelo grupo Hitachi pode-se observar a comparação de emissões de CO₂ pelas diferentes tecnologias de produção de energia eléctrica. Analisando o gráfico verifica-se a existência de quatro tecnologias com menor produção de emissões, embora, na actualidade, apenas as grandes hidroeléctricas sejam competitivas. Estas possuem como todas as fontes de energia alguns inconvenientes, provocando o apodrecimento da vegetação submersa nos grandes reservatórios, os quais produzem uma quantidade substancial de gases de efeito de estufa, sendo o metano o principal gás provocado pela vegetação submersa, o qual é cinquenta vezes mais potente que o CO₂. Os projectos de grandes hidroeléctricas estão a ser abordados devido aos seus impactos ambientais. Estas quatro tecnologias podem assim contribuir para uma redução das emissões de CO₂.

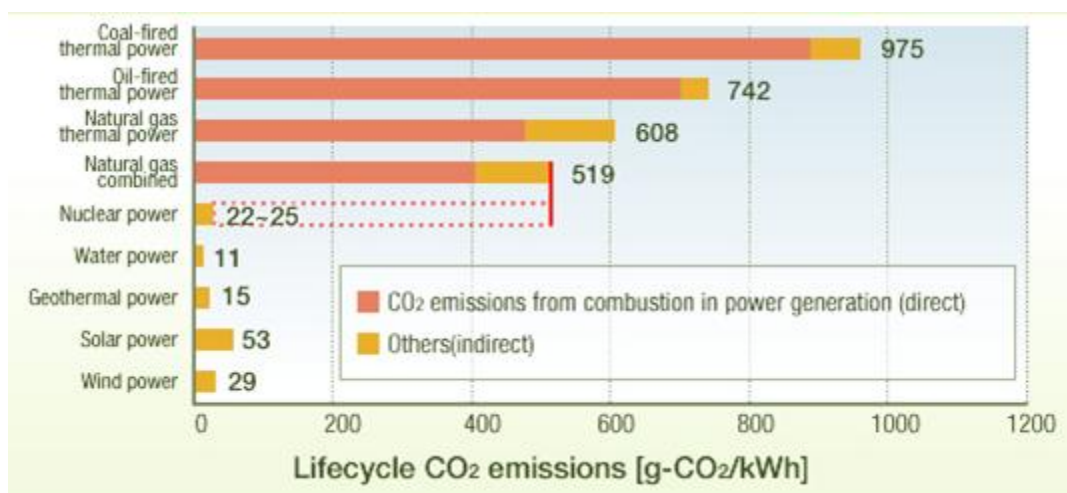


Figura 5 - Emissão de várias tecnologias de produção de energia eléctrica [9]

2.3 – Tecnologia

O que apelidamos de energia eólica significa o processo pelo qual o vento é utilizado para produzir energia mecânica ou energia eléctrica.

As turbinas eólicas têm pás que são postas em movimento pela acção da passagem da energia cinética do vento sobre elas. Esse movimento, faz com que a energia cinética do vento, seja convertida em energia mecânica, alimentando um gerador eléctrico que produz a electricidade que pode ser injectada na rede eléctrica e distribuída ao consumidor. A energia eólica pode também ter uma aplicação descentralizada, ou seja, pode ser utilizada apenas para fornecer electricidade num determinado local situado longe da rede eléctrica de distribuição aos consumidores.

2.3.1 – Tipo de turbinas

A tecnologia das turbinas eólicas tem evoluído muito devido aos avanços tecnológicos dos materiais, da engenharia, da electrónica e da aerodinâmica. Actualmente, existem dois tipos de turbinas eólicas, as de rotores de eixo horizontal e as de rotores de eixo vertical.

2.3.1.1 – Turbinas de rotor de eixo horizontal

Este é o tipo de rotor mais eficiente, mas requer sistemas mecânicos mais complexos que os de eixo vertical. Normalmente dividem-se em 3 grupos: rápidos (2 a 3 pás), velocidade média (3 a 6 pás) e lentos (6 a 24 pás) [10].

As turbinas de eixo horizontal podem ser classificadas com base da posição do rotor em relação à torre: o disco varrido pelas pás pode estar a jusante do vento (downwind) ou a montante do vento (upwind) [11]. Nas turbinas downwind como se pode ver na Figura 6, o vento incide na área de varredura do rotor por trás da turbina eólica. As turbinas downwind possuem uma vantagem teórica que reside no facto de não necessitarem de um mecanismo de orientação direcciona em relação ao vento, permitindo o auto alinhamento do rotor na direcção do vento. No entanto, tem vindo a ser progressivamente abandonadas, pois o escoamento é perturbado pela torre antes de incidir no rotor. Contudo esta vantagem é utilizada somente para turbinas eólicas de pequena escala [12], pois para as de grande escala, devido a maior flexibilidade do rotor, durante fortes rajadas de vento, as pás podem colidir com a torre. A principal desvantagem desta configuração é a turbulência causada no vento pela torre da turbina.

Essa turbulência cria ruídos audíveis que dificultam a autorização e a aceitação deste tipo de turbina, principalmente, em áreas próximas de habitações [11] [13].

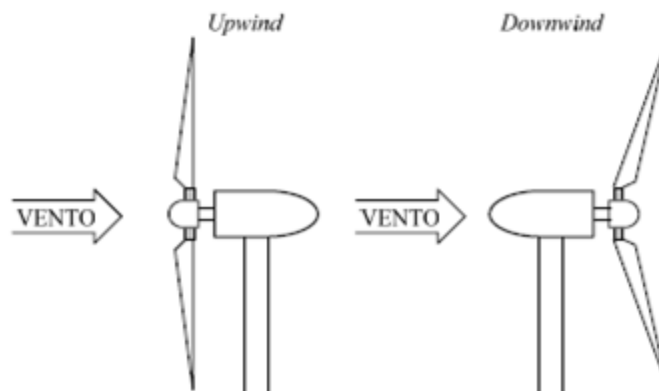


Figura 6 - Direção do vento para turbinas upwind e downwind [14]

Nas turbinas upwind o vento incide na área de varredura do rotor pela parte frontal da turbina, sendo que a "sombra" das pás provoca esforços vibratórios na torre. A sua principal vantagem consiste em evitar o distúrbio causado pela torre no vento. Devido a este facto, a maior parte das turbinas eólicas utilizadas actualmente são upwind [13]. As desvantagens das turbinas upwind são a passagem periódica das pás pela torre, que causam pulsações de torque na turbina eólica e a necessidade do mecanismo de orientação direccional, que provoca uma maior carga na torre comparado com as turbinas downwind [15], com os sistemas a montante do vento a necessitarem de mecanismos de orientação do rotor com o fluxo de vento.

2.3.1.2 – Turbinas de rotor de eixo vertical

As turbinas de rotor de eixo vertical têm uma forma parecida com um batedor de claras de ovo e são conhecidas por "Darrieus", o cientista francês que as inventou. Hoje em dia poucas empresas fabricam turbinas de eixo vertical, ainda assim, este tipo de turbina apresenta algumas vantagens.

Vantagens de uma máquina de eixo vertical são:

- Poder-se colocar o gerador e a caixa de velocidades no solo, sendo desnecessário uma torre para a máquina;
- Não precisar de um mecanismo de ajuste da direcção do aerogerador para virar o rotor contra o vento;
- Simplicidade na concepção.

As desvantagens consistem em:

- Velocidades muito baixas perto do nível do solo, o facto de não possuir uma torre origina o aproveitamento do vento a baixas velocidades;
- Não possuir um arranque automático (por exemplo, uma máquina do tipo Darrieus necessita de um "empurrão" antes de iniciar. Este é contudo um pequeno inconveniente para uma turbina ligada à rede, uma vez que se pode usar o gerador como um motor para iniciar a máquina);
- Necessidade de utilização de espigas de suporte;
- Esforços dinâmicos acrescidos.

2.3.2 – Constituição de um aerogerador

Todos os aerogeradores, independentemente da sua dimensão, são constituídos pelos seguintes componentes: o rotor (a parte que roda por acção do vento e onde se fixam as pás), a cabina, o gerador eléctrico e a torre.

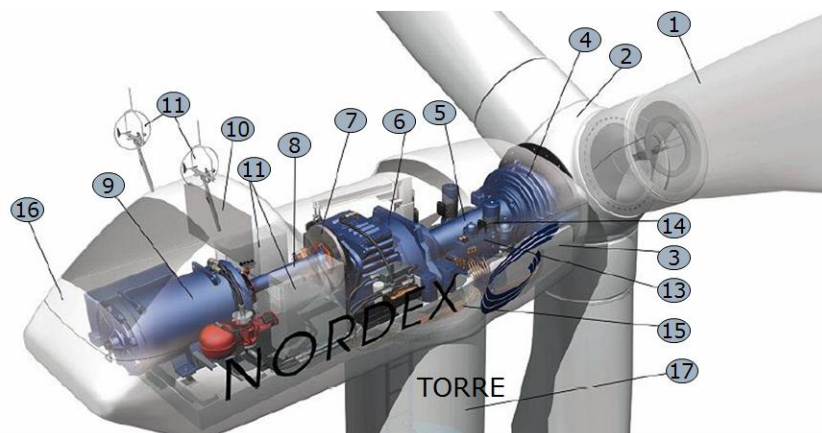


Figura 7 - Componentes de um aerogerador de eixo horizontal [16]. Legenda: 1 - pás do rotor 2 - cubo do rotor 3 - cabina 4 - chumaceira do rotor 5 - veio do rotor 6 - caixa de velocidades 7 - travão de disco 8- veio do gerador 9 - gerador 10 - radiador de arrefecimento 11 - anemómetro e sensor de direcção 12 - sistema de controlo 13 - sistema hidráulico 14 - mecanismo de orientação direccional 15 - chumaceira do mecanismo de orientação direccional 16 - cobertura da cabina 17 – torre

2.3.2.1 – Rotor

O rotor é o componente do sistema eólico responsável pela captação da energia cinética dos ventos transformando-a em energia mecânica de rotação. É o componente mais característico de um sistema eólico, sendo caracterizado pela definição das pás, pela determinação da sua forma e do ângulo de ataque em relação à direcção do vento. A sua configuração irá influenciar o rendimento global do sistema. As pás são normalmente fabricadas a partir de compostos sintéticos, tal como plásticos reforçados com fibra de vidro. Estes são materiais facilmente moldáveis, robustos, resistentes à fadiga e com boa relação qualidade/preço. As fibras de carbono apresentam-se com melhores qualidades mecânicas mas também são mais dispendiosas.

2.3.2.2 – Cabina

A cabina é o local onde se encontram alojados os constituintes do aerogerador, o gerador (converte a energia mecânica em energia eléctrica), o veio secundário (transfere a energia mecânica da caixa de velocidades para o gerador), o travão de disco (permite travar o rotor por questões de segurança), a caixa de velocidades (aumenta o número de rotações do veio secundário), a chumaceira (sustenta o veio primário) e os radiadores (que arrefecem o gerador e a caixa de velocidades).

2.3.2.3 – Gerador

O gerador é o componente responsável pela conversão da energia mecânica de rotação em energia eléctrica. A sua integração nos sistemas de conversão eólica possui alguns problemas, os quais envolvem principalmente:

- Variações na velocidade do vento (extensa faixa de rotações por minuto para a geração);

- Variações do torque de entrada (uma vez que variações na velocidade do vento induzem variações de potência disponível no eixo);
- Exigência de frequência e tensão constante na energia final produzida;
- Facilidade de instalação, operação e manutenção devido ao isolamento geográfico de tais sistemas.

2.3.2.4 - Torre

As torres constituem um elemento necessário para sustentar e posicionar o rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento, isto é, de forma a que a velocidade do vento seja maior e menos perturbada do que no solo. É um item estrutural de grande porte e de elevada contribuição no custo inicial do sistema. Quase todas as torres têm uma forma tubular de modo a minimizar o impacto visual, sendo normalmente construídas em diversos troços de aço ou betão que são montados no local com a ajuda de equipamentos e máquinas adequadas, nomeadamente gruas.

As torres entrelaçadas apesar de terem custos mais reduzidos, fundações mais ligeiras e efeito de sombra da torre atenuado, têm vindo a ser progressivamente abandonadas especialmente devido ao seu maior impacto visual [17].

A energia produzida por qualquer aerogerador aumenta substancialmente com a velocidade do vento. Por isso os aerogeradores são instalados nas zonas em que o potencial eólico é mais elevado, isto é, em zonas ventosas. Como a velocidade do vento é afectada pelo relevo do solo, e aumenta com a altura acima do solo, as turbinas são montados em torres muito altas.

2.4 – Vantagens e desvantagens da produção de electricidade a partir da energia eólica

A opinião pública reflecte uma maior apetência pela utilização de fontes de energia renovável do que pelas energias ditas convencionais. A energia eólica é uma energia renovável e gratuita, por isso não importa quanta se utilize hoje porque ela estará igualmente disponível no futuro. Por outro lado energia eólica é uma fonte de energia

limpa e não poluente. Não produz gases com efeito de estufa nem outros agentes de poluição evitando os custos associados à poluição (custos ambientais e de saúde pública) bem como o esgotamento dos recursos energéticos não renováveis.

A energia eólica tem um papel de complementaridade na produção de energia eléctrica e contribui para a diversificação dos modos de produção e para diminuir a nossa dependência energética do exterior, materializada na importação de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão). Gera cinco vezes mais emprego por euro investido do que as tecnologias associadas ao carvão ou ao nuclear.

Um indicador das vantagens económicas da energia eólica é o valor do retorno económico correspondente ao seu desenvolvimento que inclui os custos do trabalho, os custos de matérias-primas para o fabrico e instalação, transportes, exportações e o valor da electricidade produzida.

A energia eólica é, pelas razões anteriormente referidas um contributo para atingir os compromissos internacionais, nomeadamente o Protocolo de Quioto e a directiva comunitária que impõe que a sua participação na produção de electricidade corresponda a 39%, até 2010.

Por cada MWh de energia eléctrica de origem eólica são reduzidas entre 0,8 a 0,9 toneladas de emissões de gases com efeito de estufa que seriam produzidas pela utilização dos combustíveis fósseis na produção de energia eléctrica.

A produção eólica deverá ser acompanhado de medidas eficazes de redução do consumo de energia através do aumento da eficiência energética e da utilização racional da energia.

Os maiores desafios que se põem à utilização deste recurso renovável relacionam-se com a sua intermitência pois nem sempre o vento sopra quando a electricidade é necessária e com os custos associados à produção de energia eléctrica e ao armazenamento desta em baterias.

Esses custos da energia eléctrica produzida pelos aerogeradores são fundamentalmente determinados por:

- Custo do investimento (aerogerador, fundações, ligação à rede, rendas etc.)
- Tempo de vida útil do aerogerador
- Taxa de juro do montante investido
- Custos de exploração e manutenção
- Quantidade de energia produzida/ velocidade média do vento

Apesar do custo dos aerogeradores ter vindo a decrescer nos últimos anos, esta tecnologia requer ainda um investimento inicial mais elevado por kW de potencia instalada do que a produção de electricidade baseada em derivados de petróleo.

Em Portugal, essa redução do custo dos aerogeradores não foi assim tão acentuada devido à tendência na instalação de aerogeradores de grandes dimensões motivada pelas características dos locais onde podem ser instalados e o elevado custo dos terrenos. Estima-se que os custos dos aerogeradores se situem entre os 1000 e os 1200 Euros/kW instalado.

2.5 – Sector eólico nacional

Em Portugal, devido à sua situação geográfica e geomorfológica, apenas nas montanhas a velocidade e a regularidade do vento é susceptível de aproveitamento energético. A maior parte dos locais com essas características situam-se a norte do rio Tejo, e a sul junto à Costa Vicentina e Ponta de Sagres, sendo raros na extensa planície alentejana.

O Departamento de Energias Renováveis do INETI produziu uma base de dados do potencial eólico do vento em Portugal - EOLOS2.0 que apresenta as características físicas e energéticas do escoamento atmosférico num conjunto de 57 locais em Portugal Continental e uma folha de cálculo simplificada, que permite, em função do investimento, avaliar a viabilidade económica e o Atlas do Vento em Portugal. A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em colaboração com o Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, o INESC (Porto) e o Research Centre for Wind Energy and

Atmospheric Flows (RCWEAF) desenvolveram o "software" VENTOS, que é utilizado para simulação computacional do comportamento do escoamento do vento sobre solos complexos com ou sem arborização. Estas, são ferramentas importantes para o conhecimento do potencial energético deste recurso.

A disponibilidade e a velocidade do vento são por isso determinantes para a valia económica de um projecto de produção de energia eléctrica a partir deste recurso renovável. Por isso é indispensável proceder a uma avaliação do recurso antes de iniciar o projecto. Em regra um sistema de produção eólica necessita de uma velocidade média anual do vento de 15 km/hora ou seja 4,2 m/s.

Em 2008, os distritos com maior recurso de vento, foram Lisboa, Guarda, Santarém, Leiria, Faro, Coimbra, Vila Real, Aveiro e Castelo Branco com (2644, 2617, 2561, 2450, 2413, 2315, 2272, 2230 e 2230 horas equivalentes).

No final de 2009, a potência eólica instalada em Portugal era já de 3 455 MW, distribuída por 191 parques, com um total de 1 838 aerogeradores ao longo de todo o território Continental, sendo os distritos de Viseu, Castelo Branco, Coimbra, Viana do Castelo, Lisboa, Vila Real, Leiria, Santarém, Braga e Guarda (590, 457, 428, 334, 286, 269, 230, 159, 150 e 148 MW), os que apresentaram maior potência instalada, respectivamente.

Nos últimos anos tem-se então verificado um crescimento substancial do número de aerogeradores implantados no país, representando a produção de energia eléctrica de origem eólica cerca de 4% do consumo final de electricidade no final de 2009, sendo expectável que até ao fim de 2010 represente 15%.

2.6 – Energia eólica no mundo



Figura 8 - Potência total instalada no mundo entre 2001 e 2010 [18]

- Capacidade mundial alcançada no fim de 2009: 159 213 MW;
- A energia eólica mostra uma razão de crescimento de 31,7%, a maior percentagem alcançada desde 2001;
- A tendência indica que a capacidade duplica a cada três anos;
- Todas as turbinas instaladas em todo o mundo no final de 2009 estavam gerando 340 TWh anualmente;
- O Sector eólico mundial emprega cerca de 550 mil pessoas em todo o mundo;
- Em 2012 espera-se que a indústria eólica ofereça um milhão de empregos;
- A Ásia é o continente com maior quantidade de novas instalações (40,4%), seguida da América do Norte (28,4%) e da Europa com (27,3%);
- A América Latina mostra um bom crescimento na indústria eólica principalmente devido ao Brasil e ao México;

- Espera-se que no fim do presente ano haja uma capacidade total de 200 MW de energia eólica.
- Em 2020, prevê-se uma capacidade global de 1 900 000 MW de energia eólica em todo o mundo! [18]

2.7 - Avaliação do potencial eólico da empresa em estudo

Geralmente quando se depara com um local ou região que apresenta incidência de ventos fortes espera-se que seja um bom local para a implementação de sistemas eólicos. Contudo, esse factor não é suficiente para indicar a viabilidade de projectos eólicos para esse local ou região, sendo fundamental conhecer de forma detalhada o comportamento e a sazonalidade do vento. Desta forma, devido à complexidade do processo, a realização de uma pesquisa em locais promissores exige a utilização de critérios bem definidos. Existe assim a necessidade de elaborar um procedimento básico para facilitar a identificação dos elementos que definem a qualidade do local em causa.

Pode-se dividir os procedimentos necessários em duas etapas: a primeira tem como objectivo uma análise de pré-qualificação do local através da elaboração de questões que permitam identificar, de maneira precisa, os factores que influenciam o regime dos ventos como as condições do solo, o tipo de vegetação, a complexidade do terreno e a presença de obstáculos.

É necessário ter informação sobre o comportamento do vento no local a ser analisado, deve-se averiguar a existência de algum tipo de medição de vento no local ou na eventualidade de não existir, recorrer aos dados medidos nas estações anemométricas vizinhas. Possuindo os dados do vento e o mapa do relevo da região avalia-se o comportamento dos ventos de forma a verificar se o local em questão é adequado para a implementação do empreendimento. Após estas avaliações é possível tirar uma conclusão relativamente à potencialidade do local e se os resultados forem satisfatórios

deve-se realizar uma análise mais cuidada com medições específicas do local para averiguar a capacidade de produção do local.

A segunda etapa de avaliação dos locais eólicos é, sem dúvida, a fundamental, pois é aqui que se define a viabilidade do empreendimento. Nesta etapa realiza-se um levantamento mais elaborado e propõe-se o projecto para aproveitamento do potencial eólico no local. É feito um levantamento o mais detalhado possível do mapeamento geral do local, identificando factores que influenciam o regime dos ventos (rugosidade, obstáculos e relevo) e a capacidade de produção.

Com a ajuda destes dados posicionam-se as estações anemométricas que comprovarão o regime dos ventos do local e ensaia-se o posicionamento dos aerogeradores. De seguida, com os dados obtidos das estações anemométricas monta-se uma série histórica consistente do local, correlacionando-se esses dados com aqueles obtidos nas estações vizinhas, procede-se ao cálculo do potencial eólico do local e por fim determina-se o tipo de aerogerador que melhor se adapta. Esses resultados associados aos custos inerentes da área e dos equipamentos, permitirão estimar a capacidade de produção do sistema eólico e identificar o custo da energia gerada (MWh).

No que diz respeito ao caso de estudo, numa primeira fase foi feita uma recolha dos factores que influenciam o regime dos ventos no local, nomeadamente, as condições do solo, o tipo de vegetação, a complexidade do terreno e a presença de obstáculos. Nessa recolha verificou-se que o local onde será instalado o aerogerador, é um local de ventos fortes, junto à ria, num terreno plano, sem vegetação e sem obstáculos próximos, ou seja, teoricamente um local com forte potencial. Numa segunda fase, procedeu-se ao cálculo desse mesmo potencial, através da realização de medições da velocidade do vento com um anemómetro devidamente calibrado. Após o cálculo desse mesmo potencial, determinou-se então o tipo de aerogerador que melhor se adapta ao local em estudo.

2.7.1 - Anemómetro utilizado

O aparelho utilizado para efectuar as medições da velocidade do vento, foi um aparelho cedido pela empresa. Este aparelho para além de ser preciso, seguro e de fácil utilização, permite efectuar medições do vento, de temperatura e de humidade relativa, não precisando o higrómetro de qualquer calibração, uma vez que o aparelho mantém a sua alta precisão durante o seu tempo de vida. Na Tabela 1, podem observar-se algumas das características do aparelho utilizado durante as medições da velocidade do vento.

Tabela 1 - Características do aparelho utilizado para efectuar as medições do vento

Marca	SKYWATCH
Modelo	ATMOS
Tipo	Anemómetro – Termómetro - Higrómetro
Dimensão	62 X 120 X 32mm
Peso	115 gramas

O anemómetro é constituído por uma hélice 3D multidireccional que permite uma medição precisa do vento bem como da sua direcção e contém uma precisão no plano horizontal de mais ou menos 4%. Em termos de ciclos de medição, o anemómetro faz uma medição em cada segundo, podendo essas medições da velocidade do vento ser fornecidas em cinco unidades diferentes: km/h (quilómetro por hora), mph (milha por hora), m/s (metro por segundo), fps (pies por segundo) e knots (milha náutica por hora). O alcance de medição do anemómetro pode variar entre os 3 e os 255 km/h, as 2 e as 150 mph, os 2 e os 100 m/s, os 2 e os 255 fps (pies por segundo) e as 2 e as 150 knots. Este anemómetro possui uma incerteza que varia entre 0,1 m/s a 0,2 m/s.

2.7.2 - Calibração do anemómetro

A calibração de anemómetros é realizada num túnel de vento e consiste em instalar o anemómetro na secção de teste e correlacionar para diferentes velocidades a velocidade de rotação do anemómetro. A velocidade nesta secção é determinada com auxílio de tubos de Pitot. No procedimento são utilizados transdutores para medir a pressão

diferencial dos tubos de Pitot, temperatura média do ar, pressão atmosférica e humidade relativa.

O procedimento é realizado na faixa de 4m/s a 16m/s. Após o levantamento dos dados, realiza-se uma análise de regressão linear determinando parâmetros estatísticos como os coeficientes angular e linear que definem a equação da recta que representa a velocidade do vento em função da rotação do anemómetro. A frequência da amostragem deve ser de pelo menos 1Hz durante pelo menos 30 segundos. A velocidade média de referência é determinada medindo a pressão diferencial no tubo de Pitot e levando em consideração as correcções do coeficiente de correcção do tubo de Pitot, do túnel de vento e do efeito de bloqueio. A massa específica do ar é determinada em função da temperatura média do ar, da humidade relativa, e da pressão atmosférica. [1]

Após a recolha dos dados, realizou-se então a análise de regressão linear com o objectivo de obter os seguintes parâmetros da regressão: coeficiente linear (offset), coeficiente angular (slope), desvio padrão, e coeficiente de correlação. Na regressão linear correlaciona-se a velocidade de referência, obtida no túnel de vento a partir da pressão dinâmica dos tubos de Pitot, com a frequência de saída do anemómetro. O procedimento de calibração é considerado satisfatório quando o coeficiente de correlação é maior que 0,99995. Da regressão linear efectuada foram obtidos o coeficiente angular (0,04017) e o coeficiente linear (0,20134) assim como o coeficiente de correlação ($R > 0,99997$).

2.7.3 - Medição da velocidade do vento

Durante uma medição da velocidade do vento, deve-se ter em conta a incerteza que os anemómetros apresentam na mediação da velocidade. A Figura 9 mostra que existe um aumento da variação da energia em função dessa incerteza do anemómetro para diferentes velocidades médias, devido à energia eólica disponível no vento estar relacionada com o cubo da velocidade do vento (v^3). Por exemplo, para uma velocidade média de 7,0 m/s, e utilizando um anemómetro com incerteza de, mais ou menos 0,5m/s, a variação na energia gerada pode ser maior que 21% [1].

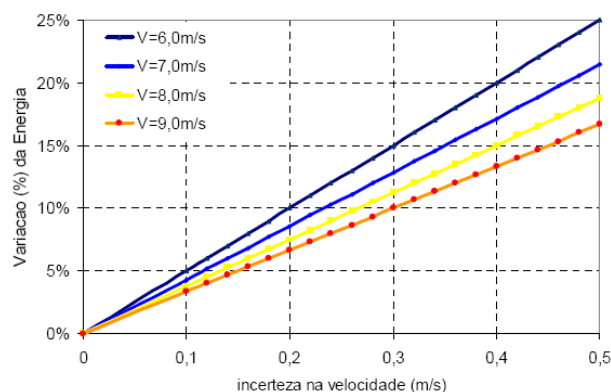


Figura 9 - Efeito da incerteza do anemómetro na energia do vento [1]

Para tornar fiáveis os resultados de energia disponível, é portanto recomendada a utilização de anemómetros com incerteza compreendida entre 0,1 m/s a 0,2 m/s, como é o caso do anemómetro utilizado. De um modo geral, num levantamento de potencial eólico, existem outros factores que contribuem para o aumento da incerteza da estimativa de energia tais como: qualidade do anemómetro e sua calibração, o período das medições (que deve ser no mínimo 1 ano), as correlações a longo prazo destas medições assim como a extrapolação da velocidade do vento. Desta forma, as medições poderão apresentar incertezas de 1,5% até 14%. Isto representa, por exemplo, uma incerteza na produção de energia de um parque eólico na ordem de 3,0% a 30%. Um levantamento de potencial eólico será de alta qualidade quando a energia produzida apresentar uma incerteza menor que 3,0% [1].

Para este caso particular foram efectuadas medições nos meses de Março (Inverno), Maio (Primavera), Julho (Verão) e Setembro (Outono). Nos vários dias destes meses, com excepção dos dias de fim de semana e feriados, foram efectuadas 3 medições com um período de amostragem de 30 minutos, ou seja, efectuaram-se medições de manhã entre as 9:00 e as 9:30, ao meio-dia entre as 12:00 e as 12:30 e ao fim da tarde entre as 19:00 e as 19:30. Todas estas medições foram efectuadas no Porto de Pescas de Aveiro.

Posteriormente, para verificar a qualidade das medições, e de modo a poder comparar as medições efectuadas pelo anemómetro com as medições de uma estação/superfície meteorológica, recorreu-se a uma fonte segura cuja base de dados é alimentada pela

NASA para fins de estudo científico, nomeadamente ao *Surface Meteorology and Solar Energy. A renewable energy resource web site (release 6.0)*. Nesta fonte foi possível obter-se o valor médio para cada mês, da velocidade do vento para o local em questão, através da introdução das suas coordenadas, nomeadamente, da latitude e da longitude.

Tabela 2 - Velocidades do vento médias da empresa em estudo segundo Surface Meteorology and Solar Energy. A renewable energy resource web site (release 6.0)

Mês	Velocidade do vento (m/s)
Janeiro	6,0
Fevereiro	6,1
Março	6,1
Abril	6,0
Maio	4,4
Junho	4,4
Julho	3,7
Agosto	3,9
Setembro	4,2
Outubro	5,2

Quando comparados os valores da velocidade do vento média, medidos com o anemómetro para os meses de Março, Maio, Julho e Setembro (5,9 m/s, 4,2 m/s, 3,6 m/s e 4,0 m/s), respectivamente, com os valores mensais da velocidade média do vento da Tabela 2, pode afirmar-se que as medições feitas com o anemómetro apresentam um bom grau de fiabilidade.

2.7.4 – Cálculo do potencial eólico

Após realizadas as medições, procede-se ao cálculo do potencial eólico. Para uma estimativa desse potencial eólico foram efectuados os cálculos de acordo com Aldo Rosa (2005) [19].

Assim sendo, é determinada a percentagem de ocorrência de uma velocidade assumida constante, v_m , em função das medições realizadas.

Primeiramente procede-se ao cálculo da velocidade média cúbica, $\langle v \rangle$, através da Eq. (1):

$$\langle v \rangle = \left(\frac{1}{T} \int_0^T v^3 dt \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Que pode ser aproximada pela Eq. (2):

$$\langle v \rangle = \left(\frac{\sum n_i \cdot v_i^3}{\sum n_i} \right) \quad (2)$$

em que n_i é o número de segundos com uma velocidade constante v_i . A potência máxima possível de retirar do vento numa turbina eólica, P_D , é dada pela Eq. (3), em que ρ é a massa volúmica do ar:

$$P_D = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho \langle v \rangle^3 A \quad (3)$$

em que ρ é a densidade de potência do vento, $\langle v \rangle$ é a avaliação da densidade de potência para o vento, A é a área de varrimento da pá, e e é a eficiência da turbina.

Com os valores da velocidade do vento obtidos nas várias medições procedeu-se então ao cálculo da velocidade média cúbica pela Eq. (2) para cada uma das medições, e considerou-se que a velocidade é constante em cada minuto.

Foi obtida uma velocidade média cúbica, $\langle v \rangle$, para o total do período de amostragem de aproximadamente 5,0 m/s.

Por fim, considerando uma densidade do vento no valor de 1.29 kg/m³, calculou-se a densidade de potência do vento, P_D , pela Eq. (3), obtendo-se desta forma um valor de aproximadamente 47,8 W/m².

2.7.5 - Escolha do Aerogerador

Actualmente, existem aerogeradores específicos para uso doméstico/industrial disponíveis no mercado, com potência nominal desde os 400 W até aos 3.5 kW. A Figura 10 apresenta a curva de potência de quatro diferentes aerogeradores. É possível observar que têm uma velocidade de arranque de aproximadamente 5 m/s e uma velocidade nominal na ordem dos 17 m/s. Velocidades demasiado elevadas produzem menos electricidade e podem levar a problemas no aerogerador, por isso normalmente estão equipados com travões de disco ou de sistema aerodinâmico.

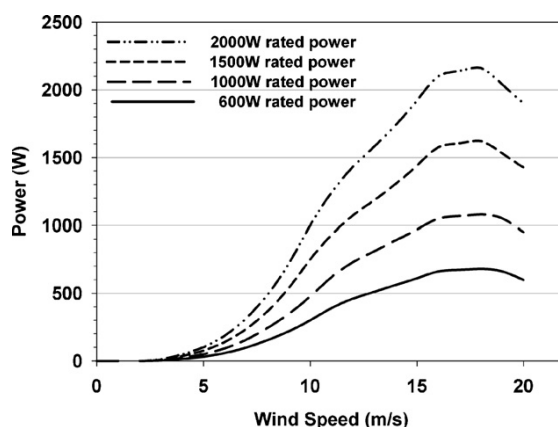


Figura 10 - Curva de potência de quatro aerogeradores [20]

Os aerogeradores apresentam normalmente 3 pás, mas existem outras configurações que têm 4, 5 ou 6 pás. Apesar das turbinas de eixo horizontal serem as mais preferidas para aplicações domésticas, têm surgido turbinas de eixo vertical que apresentam algumas vantagens de performance, devido ao facto de não dependerem da direcção do vento, necessitarem de menor velocidade de arranque, produzirem menor ruído, e por ter o gerador instalado na base [20].

Devido à elevada intermitência do vento na maior parte dos casos, a energia gerada é armazenada através de, por exemplo, uma bateria. Esta energia produzida pode ser utilizada para satisfazer a procura da energia doméstica, ou pode ser vendida à rede de distribuição de energia eléctrica nacional, estando o valor da tarifa praticada,

dependente da tecnologia utilizada. Esse valor é estabelecido pelo Decreto-Lei nº 225/2007 de 31 de Maio.

Para a empresa em estudo, propõe-se então a colocação de uma turbina eólica com as seguintes características:

- Potencial Nominal – 200 kW
- Tensão - 690 V
- Diâmetro das pás – 32m
- Velocidade de arranque – 3m/s
- Velocidade de vento à potencial nominal – 13 m/s
- Tipo de orientação – electrónica
- Material das pás – fibra de vidro

2.8. – Armazenamento da Energia Eólica

A energia eólica é, como se sabe, uma fonte de energia intermitente. Nas situações em que a produção da energia eléctrica pelas turbinas é superior à procura pode-se armazenar o excedente para usar quando a situação se inverter. Assim, de forma a aumentar o aproveitamento eólico, é necessário utilizar mecanismos para armazenar a energia dos ventos, podendo ser realizado, de forma directa ou indirecta, ou seja, a energia gerada na forma eléctrica ou mecânica. Esse armazenamento é obtido através da conversão da energia eólica em outras formas de energia através de aerogeradores. A energia eléctrica apresenta o inconveniente de não poder ser armazenada como "energia eléctrica".

Para um armazenamento de grande escala (ordem de MW), os mecanismos mais utilizados são:

- Motor - bomba (bombagem): é usada a energia eléctrica produzida pelo sistema eólico para alimentar uma bomba, movida a electricidade, que irá transportar a água de um corpo hídrico para um reservatório situado a uma altura superior (de jusante para montante). A energia ficará então armazenada sob a forma de energia potencial da massa

de água que quando necessária será liberada e poderá accionar uma turbina geradora de electricidade.

- Motor - compressor: é um mecanismo que permite o armazenamento da energia eólica – eléctrica na forma de energia potencial de ar comprimido, que pode ser armazenado num recipiente próprio para posterior utilização no accionamento de turbinas produzindo electricidade.

Para aplicações de menor escala as várias formas disponíveis de armazenamento são:

-Bateria: a bateria é um dispositivo constituído por células electroquímicas que convertem energia química em energia eléctrica, sob a forma de corrente contínua, quando estão no processo de descarga, e energia eléctrica em energia química quando em carga, ou seja, possuem a funcionalidade de armazenar a energia eólica-eléctrica excedente sob a forma de energia química. Durante o processo de carga e descarga as baterias perdem energia sob a forma de calor, devido às reacções químicas internas, pelo que apresentam um rendimento inferior a 100%.

- Produção de H₂: a energia eólica - eléctrica pode ser convertida e depois armazenada sob a forma de energia química do hidrogénio. Essa conversão, designada por electrólise, consiste na separação das moléculas de água através da corrente eléctrica em átomos de hidrogénio e oxigénio com libertação de energia. O hidrogénio é armazenado para depois ser utilizado como combustível (reductor) em células combustíveis que combinado com o oxigénio produz electricidade.

- Calor: para o armazenamento do excedente da energia eólica - eléctrica sob a forma de calor (energia térmica) recorre-se à utilização de resistências. A passagem da corrente eléctrica por estas vai originar o seu aquecimento e libertação de calor, podendo este ser utilizado para aquecer água que ficará armazenada num recipiente térmico ou na forma de vapor, com o objectivo de ser usada posteriormente.

- Motor - volante: o volante, também designado de flywheel, é uma roda que armazena a energia através do movimento giratório (energia cinética) por tempo "indeterminado", baseado na lei da conservação da energia a roda em movimento tende a permanecer em movimento desde que não sofra a acção de nenhuma força contrária. Na flywheel existem mecanismos que anulam as forças contrárias sendo que enquanto eles se mantiverem íntegros o volante continuará a girar. A diferença entre o motor-volante e o volante-mecânico é somente a forma de arranque: no primeiro usa-se a energia eléctrica para accionar o movimento do volante e no segundo usa-se a energia mecânica [21].

No entanto, é de salientar que a armazenagem da energia conduz a perdas, não sendo desta forma uma opção eficiente para a gestão da energia eólica. Se um país não tem condições geográficas favoráveis para o aproveitamento em termos de reservatórios de água (hidroeléctricas), o armazenamento não é uma solução atraente devido ao custo da penetração moderada da energia eólica.

2.9. – Impacto da integração da geração eólica nas redes eléctricas

A integração de aerogeradores e parques eólicos nas redes eléctricas obrigam a que se definam de forma objectiva e transparente regras, procedimentos e condições técnicas que a permitam integrar nas redes eléctricas. As redes devem ser exploradas de forma eficiente e segura, garantindo qualidade de serviço e evitando atrasos nas decisões relativas às autorizações de ligação dos produtores às redes, garantindo desta forma o estabelecimento de uma relação de confiança entre os produtores e as concessionárias das redes [22].

2.9.1 – Impactos mais frequentes nas redes

2.9.1.1. - Capacidade de resistência a cavas de tensão (Ride through defaults)

As cavas de tensão consistem na diminuição brusca da tensão para valores entre 90% e 1% do valor nominal, sendo que geralmente duram menos de 1 minuto e têm uma amplitude inferior a 60%. As principais causas estão relacionadas com os defeitos, manobras da rede e ligação/desligação de cargas importantes. Estas, juntamente com as interrupções, são das perturbações em que mais se tem investido nos últimos anos com vista à sua redução.

Ride Through Default Capability é a capacidade de um gerador resistir a perturbações na sequência de cavas de tensão na rede e continuar ligado a essa mesma rede, desde que o defeito seja eliminado num determinado intervalo de tempo e se verifique uma recuperação do valor da tensão no ponto de interligação com a rede. Assim os operadores de sistema obrigam a que a produção eólica se mantenha interligada numa situação de colapso, ou seja, os parques eólicos devem ser capazes de fornecer potência reactiva durante cavas de tensão de forma a proporcionar suporte para a tensão na rede.

2.9.1.2. - Variação da tensão em regime estacionário

Aquando da integração de um parque eólico na rede de distribuição assiste-se a uma variação no valor da tensão. Como consequência é possível assistir-se a um aumento da magnitude da tensão, quando a rede de distribuição é desenhada para que esta diminua [23].

2.9.1.3. – Congestionamentos

Das saturações existentes nas redes de distribuição ou na rede de transporte podem resultar congestionamentos. Existe, assim, a necessidade de efectuar um estudo para evitar qualquer tipo de inconveniente. Deste modo é realizada uma análise que se encontra dividida em duas etapas para um horizonte temporal de planeamento correspondente à data previsível de entrada em serviço da instalação de produção independente, as quais são [22]:

- Verificação de congestionamentos na rede de transporte;
- Verificação de congestionamentos nas redes de subtransmissão e distribuição.

Para a avaliação dos congestionamentos na rede de transporte devem ser simulados cenários de exploração considerando:

- *Regimes de carga nos nós de consumo (pontas e vazios);*
- Previsão das injeções máximas de PI por zona de rede, considerando os projectos em curso com condições de acesso definidas;
- Ter em conta as dependência geográficas de produção eólica entre zonas de rede;
- Situações típicas de despacho da produção convencional, relativas a cada um dos cenários de consumo, considerando as variações resultantes da integração prevista de PI;
- Situações típicas de configuração de exploração da rede;
- Situações associadas à ocorrência de contingências n-1 [24].

No que concerne às redes de sub-transmissão e redes de distribuição a avaliação dos congestionamentos deve passar pela simulação de vários cenários de exploração, considerando:

- Regimes de carga nos nós de consumo (pontas e vazios);
- Previsão das injeções máximas de PI por nó de rede, considerando os projectos em curso com condições de acesso definidas;

- Situações associadas a configuração de exploração normais e de recurso das redes [24].

2.9.1.4. – Qualidade da onda-variação de tensão

A produção eólica é uma fonte de perturbação na qualidade de serviço, originando variações da tensão devidas a variações rápidas de produção (ligação, desligação, etc.). Essa variação pode ser determinada segundo a norma IEC 61400-21. Existem limites para amplitudes de variação rápida de tensão os quais estão estipulados na norma IEC 61000-3-7.

2.9.1.5. – Qualidade da onda-flicker

É um efeito associado à impressão de instabilidade da sensação visual provocado por um estímulo luminoso cuja luminância varia no tempo. Este é causado por variações rápidas de tensão que se repetem com uma dada frequência ou variações da impedância de diversos equipamentos eléctricos [25]. Estes efeitos podem ser evitados com resposta eléctrica e mecânica adequada ou utilizando filtros de electrónica de potência [24].

2.9.1.6. – Distorção harmónica

A distorção harmónica consiste na distorção da forma de onda AC devido a frequências múltiplas de 50Hz, que são injectadas por baterias de condensadores ou electrónica de potência com imperfeições na onda sinusoidal. Como consequência, esta origina um trânsito adicional que poderá provocar o aquecimento dos motores de indução, transformadores, baterias de condensadores e neutros. Devido a todos estes factores, exige-se a limitação destas perturbações. Os conversores são fontes de corrente para determinados harmónicos que obrigam a um desenvolvimento de metodologias de verificação e controlo (IEC6100-3-6):

- Determinação dos níveis toleráveis para a distorção harmónica de tensão na rede receptora;
- Alocação dos limites de distorção às instalações produtoras;
- Identificação dos limites toleráveis para as correntes harmónicas injectadas pelas instalações produtoras.

Capítulo 3 – Outros sistemas de produção de energia a aplicar ao Caso de Estudo: Energia Solar

3.1 – Energia Solar

Na conjuntura internacional de crise no sector energético, e na procura de alternativas para contornar esta situação torna se imprescindível o desenvolvimento de tecnologias que permitem aproveitar as energias de fonte renováveis e transformá-las em energia utilizável pelo homem para satisfação das suas necessidades. Uma das fontes renováveis que se tem destacado nesse âmbito é a energia proveniente do Sol.

A energia solar é a designação dada a qualquer tipo de captação de energia luminosa e, em certo sentido, da energia térmica proveniente do Sol, e posterior transformação dessa energia em energia utilizável pelo homem.

A evolução da tecnologia nos dias de hoje, permite, utilizar a energia proveniente do Sol quer para aquecimento de água (painéis para aquecimento de água quente sanitária) quer para produção de energia eléctrica (painéis fotovoltaicos).

Em termos de legislação, o sector energético no que diz respeito aos edifícios visa determinados objectivos do seu desempenho e é regulamentado pelo:

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (promulgado pelo Decreto-Lei nº 80/2006) - tem por objectivo limitar o consumo

energético máximo de edifícios de habitação, através de diversas medidas como o incentivo à introdução de energias renováveis;

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (promulgado pelo Decreto-Lei nº 79/2006) - tem por objectivo melhorar a eficiência energética dos edifícios abrangidos, introduzindo auditorias e inspecções periódicas aos sistemas existentes e regulamentando o controlo da qualidade do ar interior;

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética (promulgado pelo Decreto-Lei nº 78/2006) - visa a atribuição de uma classificação energética para os imóveis abrangidos. Esta obrigatoriedade entra em vigor para a nova construção a partir de 1 de Junho de 2007 e para a compra/venda ou aluguer de um imóvel já existente, a partir de 1 de Janeiro de 2009.

Entre outros aspectos, a esta obrigatoriedade corresponde a instalação de 1m² de Colector Solar Térmico por ocupante, independente do tipo de Colector. Já é, portanto, obrigatória a instalação dum sistema solar e não apenas a pré-instalação em toda e qualquer nova construção e em remodelações de valor superior a 25% do imóvel, com determinadas excepções.

O controlo e verificação da implementação da legislação em vigor ficam a cargo do SCE, através da ADENE - Agência para a Energia - que assegura a gestão dos peritos qualificados que na prática garantirão a aplicação regulamentar. A supervisão será da responsabilidade da DGGE - Direcção Geral de Geologia e Energia e do IA - Instituto do Ambiente. [27]

3.2. - Vantagens e Desvantagens da Energia Solar

Vantagens

- A energia solar não polui durante o seu uso. A poluição decorrente da fabricação dos equipamentos necessários para a construção dos painéis solares é totalmente controlável utilizando as formas de controlos existentes actualmente.

- As centrais necessitam de manutenção mínima.
- Os painéis solares são a cada dia mais potentes ao mesmo tempo que o seu custo vem decaindo. Isso torna cada vez mais a energia solar uma solução economicamente viável.
- A energia solar é excelente em lugares remotos ou de difícil acesso, pois sua instalação em pequena escala não obriga a enormes investimentos em linhas de transmissão.
- Em países tropicais, como o Brasil, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território, e, em locais longe dos centros de produção energética, a sua utilização ajuda a diminuir a factura energética nestes e consequentemente a perda de energia que ocorreria na transmissão.

Desvantagens

- Os preços são muito elevados.
- Existe variação nas quantidades produzidas de acordo com a situação climática (chuvas, neve), além de que durante a noite não existe produção.
- As formas de armazenamento da energia solar são pouco eficientes quando comparadas por exemplo aos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), a energia hidroelétrica (água) e a biomassa. [27]

3.3. - Tecnologia Solar em Portugal

3.3.1. – Energia Solar Térmica

A Energia Solar Térmica é, hoje em dia, uma das formas mais rentáveis de aproveitamento da energia que o sol fornece ao nosso planeta diariamente. A utilização mais comum desta, está associada ao facto da produção de água quente sanitária ser configurada para climatização, por exemplo, produção de frio no verão através de ciclo de refrigeração por absorção.

O processo de conversão para produção de Água Quente Sanitária inicia-se no painel solar, que capta a energia emitida pelo sol e a converte em calor. O painel é composto por tubos finos, no interior dos quais circula um líquido constituído por água e anti-congelante. Este líquido, condutor térmico, absorve o calor do sol e transporta-o para o permutador de calor do depósito de acumulação. No interior do depósito de acumulação, o calor é transferido para a água, incrementando a sua temperatura. O líquido de transferência é novamente dirigido ao painel solar, dando início a um novo ciclo. [27]

Os componentes do sistema solar para AQS são:

Painel Solar – Um ou mais painéis, que transformam a radiação solar incidente em energia térmica.

Acumulador Solar – Depósito que acumula a água quente até que esta seja necessária para consumo.

Circuito hidráulico – Tubagens, bombas circuladoras e válvulas.

Grupo de Circulação – Incorporado no circuito hidráulico, faz circular o líquido térmico pelos tubos que ligam o painel solar ao depósito acumulador.

Central de Controlo – Elementos de controlo e regulação que asseguram o correcto funcionamento do sistema.

Apoio energético – Sistemas complementares de aquecimento que apenas são accionados quando as radiações recebidas pelo painel não são suficientes para o nível de aquecimento desejado. Como por exemplo Caldeiras e Esquentadores.

Existem dois tipos básicos de sistemas solares térmicos:

➤ **Sistema de Circulação Forçada**

No Sistema de Circulação forçada, os colectores e o depósito podem ser instalados em locais diferentes. A circulação é feita através de uma bomba, que é comandada por um controlador diferencial optimizando o rendimento do sistema, fazendo com que toda a energia seja aproveitada.

Características:

- ✓ Maior rendimento;
- ✓ Mais soluções para aplicação de energia solar;
- ✓ Ideal para aplicação em edifícios em construção ou remodelação;
- ✓ Investimento inicial mais elevado.

➤ **Sistema de Termossifão**

No Sistema de Termossifão, os colectores solares e o depósito de acumulação são instalados no mesmo local, não existindo a bomba de circulação do fluido solar.

Características:

- ✓ Instalação simples;
- ✓ Investimento inicial mais baixo;
- ✓ Menor rendimento da instalação;
- ✓ Em certos casos, grande impacto arquitectónico;
- ✓ Aplicável apenas para aquecimento de águas sanitária. [28]

3.3.2. - Energia Solar fotovoltaica

No caso da energia solar fotovoltaica, a conversão de energia solar em electricidade ocorre em células fotovoltaicas, usualmente constituídas por silício, e outros materiais semi-condutores. Para a geração de electricidade, os sistemas fotovoltaicos precisam de luz, não necessariamente do sol, embora a sua presença represente claramente uma maior produção de energia, pois a luz directa do sol é mais intensa. Em Portugal, a electricidade produzida pode ser consumida na habitação e/ou vendida à rede pública de distribuição de energia, o que se reflecte na criação de três cenários possíveis de utilização de energia:

- Consumo da electricidade produzida, com armazenamento ou não a electricidade excedente;
- Consumo da electricidade produzida e venda do excedente à rede eléctrica;

- Venda de toda a electricidade que produz à rede eléctrica, consumindo toda a electricidade que necessita da rede de distribuição. [27]

3.3.2.1. - Sistemas Fotovoltaicos Isolados

As mais interessantes aplicações da energia fotovoltaica são sem dúvida nos locais sem acesso á rede de distribuição eléctrica, possibilitando o fornecimento de energia eléctrica a populações isoladas e com poucos recursos. Em Portugal existem ainda muitos locais nestas condições e a energia solar pode ter um importante papel social, permitindo fixar populações em ambiente rural, com acesso a todas as vantagens da vida moderna.

Os sistemas fotovoltaicos em locais isolados são constituídos pelos módulos fotovoltaicos, inversor e/ou regulador de carga, bateria de acumuladores, estrutura de fixação, componentes eléctricos (quadro eléctrico, cabos eléctricos, disjuntor, fusíveis, fichas e interruptor). As baterias que constituem o sistema fazem o papel da rede eléctrica, assim, sempre que existe excesso de energia fotovoltaica esta é acumulada nas baterias para ser utilizada quando a mesma estiver em défice.

Nestes sistemas o custo da energia produzida é elevado, pois temos que adquirir todo o equipamento de produção, no entanto, comparativamente com outras alternativas, Diesel por exemplo, constituem melhor alternativa para ter electricidade em locais isolados da rede. [27]

3.3.2.2. – Sistemas Fotovoltaicos Interligados

As instalações fotovoltaicas ligadas á rede são centrais, que injectam na rede pública a energia produzida, podendo a sua potência ir dos 100 W a vários MW, neste caso, a rede eléctrica funciona como um grande banco de baterias que acumula a energia quando esta é produzida em excesso, e fornece quando a mesma não é suficiente.

Estes sistemas são simples e eficientes mas a sua rentabilidade económica está ligada ao valor da tarifa da venda da electricidade definida pelo governo.

Os sistemas ligados á rede são constituídos apenas pelos módulos fotovoltaicos, inversor e/ou regulador, estrutura de fixação e componentes eléctricos (quadro eléctrico, cabos eléctricos, disjuntor, fusíveis, fichas e interruptor), fornecendo a energia produzida á rede de baixa tensão (230 V 50 Hz).

As grandes centrais de produção, também conhecidas por Mega Centrais, têm a vantagem da redução relativa de custos de instalação e manutenção, podendo utilizar-se terrenos incultos e em locais remotos com pouco valor comercial para outros usos.

No entanto, a produção de elevadas quantidades de energia eléctrica num local implica o seu transporte para os locais onde será consumida, o que acarreta perdas na transformação e transporte pela rede eléctrica. [27]

3.4 – Aplicação de um Sistema Solar Fotovoltaico à empresa em estudo

Uma vez que a empresa em estudo, pretende tornar-se numa empresa mais eficiente e auto-sustentável, a utilização da energia proveniente do Sol terá que ser vista como uma mais valia para atingir esse objectivo.

3.4.1 – Escolha dos painéis solares

Cerca de 90% dos painéis solares instalados no mundo são feitos de silício cristalino. Existem ainda fabricantes que produzem painéis em silício amorfo. Existem também alguns fabricantes que produzem os chamados painéis de filmes finos, utilizando células solares de materiais com o cadmium telluride (CdTe) ou o Cobre Índio Desilénio (CuInSe₂ ou CIS). Para aplicações espaciais, nomeadamente em satélites em que o custo das células solares não é um factor crucial, utilizam-se outros materiais mais caros com arsenieto de gálio e células compostas. [27] [28]

Para o caso em estudo aconselha-se a instalação de painéis em silício cristalino. O tempo de vida destes painéis solares pode-se estender por várias décadas. A maioria dos fabricantes oferece garantias de pelo menos 20 anos, pelo que pelo menos por esse período é de esperar que o painel não se avarie. Já os outros componentes de uma instalação, como as baterias ou circuitos electrónicos de controlo tem tempos de vida mais curtos, podendo durar entre 3-15 anos. Em termos de manutenção, é mínima: apenas uma limpeza ocasional da sujidade acumulada. Se a instalação possuir sistemas autónomos com baterias, estes exigem a monitorização das baterias.

3.4.2 - Projecção de produção

Sabendo que um metro quadrado de painel solar produz cerca de 0.7kWh/m²/dia (valor médio anual para um painel em Lisboa) basta dividir o consumo médio diário de electricidade em kWh (nas facturas da EDP) por 0.7 para se saber quantos metros quadrados de painéis solares são necessários para produzir integralmente a electricidade consumida na empresa. Uma vez que não foi possível ter acesso a esse consumo médio

diário de electricidade, e que apenas foi informado que estão disponíveis 15m² para a instalação de painéis solares, fez-se uma estimativa da projecção de produção mensal e anual. Verificou-se então que 15 m² de painéis solares produzirão cerca de 10,5 kWh/dia, 315 kWh/mês e 114975 kWh/ano, ou seja, cerca de 115 MWh/ano.

3.4.3 - O que fazer com a energia produzida

A energia produzida pode ser acumulada em baterias para ser utilizada internamente ou, injectada/vendida à rede eléctrica uma vez que a electricidade solar é subsidiada através do regime de tarifas garantidas (Produção em Regime Especial) que garante cerca de 0.54€/kWh vendido à rede. Uma das vantagens de estar ligada à rede, é o facto de nos dias em que não houver sol, a empresa pode utilizar a electricidade directamente da rede.

Capítulo 4 – Outros sistemas de produção de energia a aplicar à empresa em Estudo: Cogeração/Trigeração

4.1. - Cogeração/Trigeração

A energia produzida pelos processos de produção com origem nos combustíveis fósseis e de biomassa proporcionam grandes quantidades de energia térmica residual. Em média, cerca de 60% da energia contida no combustível, é libertada sob a forma de energia térmica. Esta forma de energia é particularmente aplicada na obtenção de ar e água quente e vapor ou termo fluido sendo, posteriormente, distribuída/utilizada internamente em permutadores de calor favorecendo a transferência de calor. No entanto, esta aplicabilidade nem sempre é a melhor solução, são relevantes as perdas de distribuição e de processamento da combustão. O desenvolvimento da tecnológica tende a favorecer o aumento da eficiência energética dos processos produtivos de energia, estes avanços permitem a redução de custos de exploração e das emissões gasosas nocivas para o ambiente. [29]

A cogeração surge como uma tecnologia interessante ao garantir economias de energia e competitividade acrescida às instalações onde é aplicada, e consiste basicamente na produção combinada de energia térmica e eléctrica num só equipamento, destinando-se ambas ao consumo próprio, evitando ou atenuando a utilização de equipamentos próprios de produção de calor e aquisição de energia eléctrica à rede. O conceito de trigeração associa-se ao de cogeração com a vantagem de permitir a realização de frio, através de um ciclo de absorção. [29]

A Cogeração/Trigeração consiste num processo de produção simultânea de duas formas de energia, eléctrica (ou mecânica) e térmica, a partir de um sistema que utiliza o mesmo combustível permitindo a optimização e o acréscimo de eficiência nos sistemas de conversão e utilização de energia. A produção de energia quando efectuada no local de consumo ou próximo deste diminui significativamente o desperdício de energia e as perdas associadas ao transporte, este processamento/geração de energia, permite o aproveitamento da energia para produção de calor e frio. A Cogeração/Trigeração permite aproveitar cerca de 90% da energia contida no combustível, podendo ser aplicada tanto na indústria como no sector terciário. [29]



Figura 11 - Esquema representativo do ciclo de Cogeração/Trigeração [29]

4.1.1. - Conceitos e Tecnologia

Os sistemas convencionais convertem em electricidade apenas cerca de 1/3 da energia disponível do combustível que consomem, a restante parcela de energia é rejeitada para

o exterior sob a forma de energia térmica. Este desperdício torna estes sistemas de conversão pouco eficientes, além do efeito nocivo sobre o ambiente. [29]

Uma das formas de rentabilizar a eficiência deste processo e minimizar os efeitos provocados sobre o ambiente, é desenvolver tecnologia que permita aproveitar parte da energia desperdiçada, nesse âmbito, a cogeração/trigeração permite a conversão 7/8 de energia contida no combustível em energia utilizável.

4.1.1.1. - Sistema de Cogeração

A cogeração define-se como um sistema de produção combinada de energia eléctrica e térmica, a tecnologia é CHP (*Combined Heat and Power*). Este sistema de produção de energia é muito eficiente, possibilita uma serie de benefícios, a nível local pode reduzir significativamente a factura energética do utilizador e a um nível global reduz o consumo das reservas de combustíveis fósseis. É de salientar a redução da compra de energia à rede e a redução do impacto ambiental associado a rejeição de energia térmica para o exterior. [29]

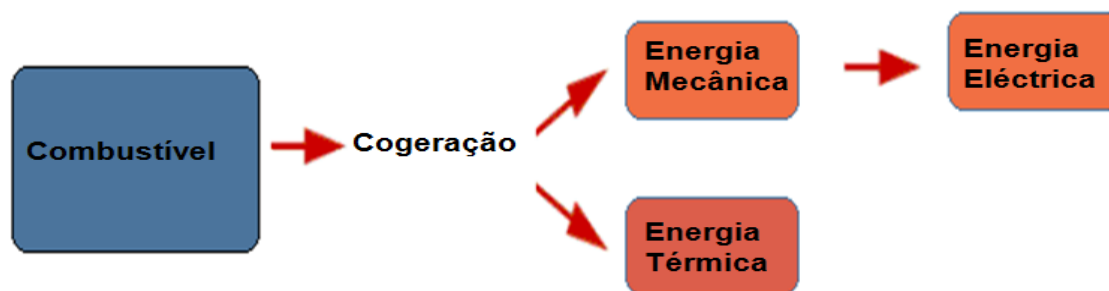


Figura 12 - Esquema representativo do princípio da Cogeração [31]

4.1.1.2. - Sistema de Trigeração

Um sistema de trigeração, não é mais de que um sistema de cogeração alargado, onde é incorporado um ciclo de absorção para produção de frio a partir da energia térmica,

assim, a trigeração é a produção em simultâneo/ combinado de energia mecânica/eléctrica, calor e frio a partir de um único combustível, a tecnologia designa-se por CHCP (Combined Heat, Cooling and Power). [29]

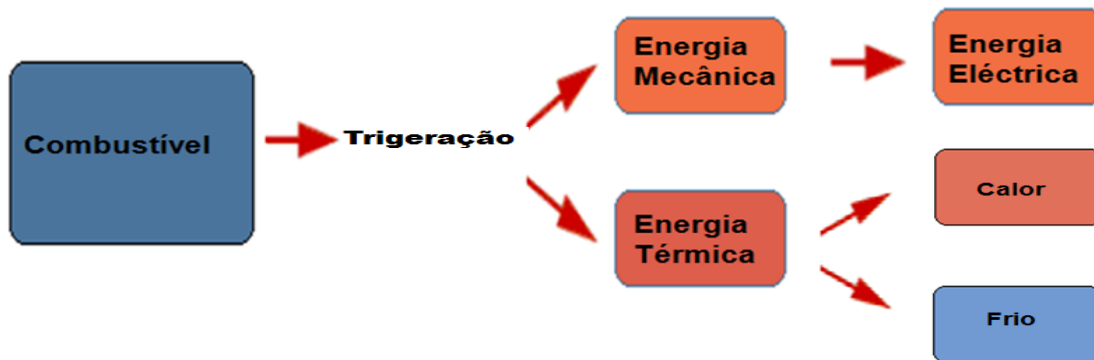


Figura 13 - Esquema representativo do princípio da Trigeração [31]

Uma central de trigeração é então um sistema de produção de energia eléctrica e térmica, esta última é aplicada em climatização (aquecimento e frio) e produção de água quente sanitária (AQS). [31]

A central de trigeração pode ser dividida em duas partes, a primeira diz respeito ao componente de produção de energia eléctrica e energia térmica, este componente é o factor de caracterização da instalação ou central de trigeração. A segunda é referente aos componentes de produção de frio (chiller de absorção) e de produção de calor (permutador de calor). [31]

Desta forma, consegue-se maximizar a utilização de combustível e minimizar o custo energético associado.

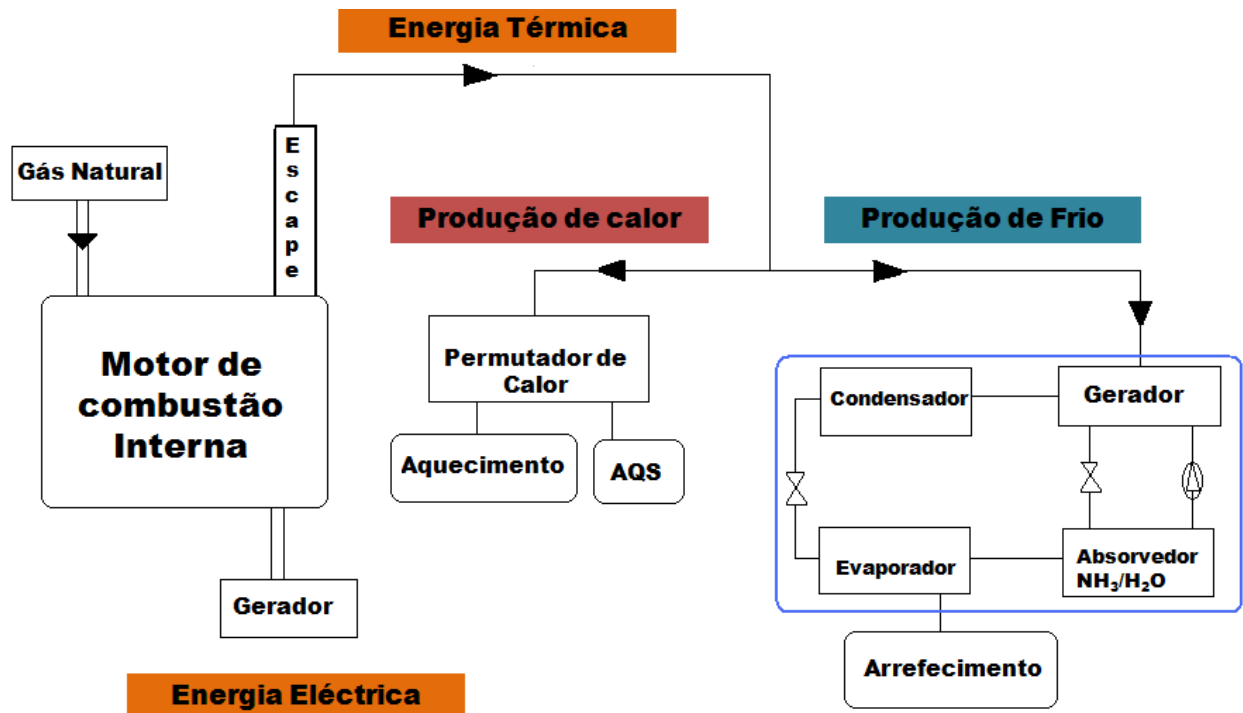


Figura 14 - Representação esquemática de um sistema de trigeração utilizando um motor de combustão interna para produção de energia [31]

A aplicação do sistema de trigeração do ponto de vista do cliente é bastante rentável e apresenta as seguintes vantagens: [30]

- Economias de energia primária, redução do consumo de combustível em cerca de 25% comparativamente à produção convencional de energia eléctrica
- Redução de emissões poluentes, a redução da poluição atmosférica segue a mesma proporção. Com a utilização de gás natural em vez de combustíveis derivados do petróleo ou carvão, as emissões de SO₂ e partículas são reduzidas a zero.
- Benefícios económicos, os custos energéticos das instalações de trigeração são menores do que os das instalações “convencionais”.
- Aumento da fiabilidade do aprovisionamento energético, centrais de Cogeração/trigeração de energia eléctrica e calor quando ligadas à rede eléctrica, garantem uma operação ininterrupta da instalação, no caso de falha do funcionamento da central ou do abastecimento da rede local.

O sistema de trigeriação do ponto de vista do produtor apresenta as seguintes vantagens: [30]

- Benefícios económicos, a nível nacional favorecem a produção descentralizada, reduzindo a necessidade de grandes centrais termoeléctricas.
- Aumento da estabilidade do sistema eléctrico, a unidade de Trigeriação proporciona um alívio significativo às redes do sistema eléctrico durante os meses quentes de verão. As cargas de arrefecimento são transferidas da electricidade para um combustível fóssil, uma vez que o processo de arrefecimento/refrigeração deixa de utilizar ciclos de compressão de vapor para utilizar os de absorção. Esta alteração contribui para o aumento da estabilidade das redes eléctricas e para a melhoria da eficiência do sistema.

4.2. – Aplicação de um Sistema de Cogeração/Trigeriação à empresa em estudo

Uma vez que na empresa existem várias câmaras frigoríficas e tendo em vista o objectivo da redução dos consumos de energia, da eficiência energética e da auto-sustentabilidade, um outro sistema de produção de energia que se apresenta bastante viável é a implementação de uma central de Cogeração.

A central de cogeração destinada à produção de frio na fábrica irá alimentar as câmaras frigoríficas a seguir discriminadas:

Tabela 3 - Câmaras frigoríficas com temperaturas superiores a 2°C que serão alimentadas pela central de Cogeração

Tipo	Área (m²)
Câmara Verde +2°C	2134
Câmara Fresco + 2°C	161
Câmara Cura + 2°C	465
Câmara Calibrados + 2°C	768
Câmara Granel seco +2°C	448
Câmara Final seco +2°C	378
Câmara MP peixe fresco +2°C	199
Câmara Final peixe fresco +2°C	196
Câmara MP caldos e gel +2°C	145

Câmara MP Biotecnologia +2°C	200
Câmara Final Biotecnologia +2°C	200
Câmara final Farinha	154
Área total a +2°C	5448

Além das seguintes áreas a +12°C:

Tabela 4 - Áreas com temperaturas superiores a 12°C que serão alimentadas pela central de Cogeração

Nome	Área (m²)
Salga e Escala	2090
Salga, Escala e Cais	1244
Lavagem	1276
Calibragem	480
Seca	1896
Peixe fresco	1496
Cais	428
Caldos e gelatinas	1090
Biotecnologia e Cais	1268
Farinha	125
Corredores	2685
Área total a +12°C	14078

O sistema será composto por:

➤ **Motores Guascor**

- Consumo – $2389 \times 3 = 7167$ kW a 100%
- Refrigeração óleo – $150 \times 3 = 450$ kW
- Refrigeração bloco motor – $451 \times 3 = 1353$ kW
- Gases de escape – $4,72\text{kg/s} - 422^\circ$ - arrefecimento até aos 120°C
- Energia recuperada nos gases de escape – $516,7 \times 3 = 1550,1$ kW
- Energia térmica disponível – $967,7 \times 3 = 2903$ kW
- Produção de energia eléctrica – $930 \times 3 = 2790$ kW

➤ **Motor GEJenbacher**

- Consumo – 6068 kW
- Refrigeração óleo – 252 kW
- Refrigeração BT – 221 kW
- Consumo de óleo lubrificante – 0,82 kg/h
- Energia recuperada nos gases de escape + arrefecimento do motor – 2179 kW
- Produção de energia eléctrica – 2681 kW

➤ **Caldeira de recuperação**

A caldeira de recuperação, produtora de água quente a 95°C destinada ao gerador do chiller de absorção, será alimentada, em primeiro lugar, através de um permutador água/água, com a água de refrigeração do motor a 90°C, e em segundo lugar pelos gases de escape do motor alternativo.

➤ **Chiller de absorção:**

Composto pelo:

- Condensador: alimentado com a água de refrigeração vinda da torre de refrigeração
- Gerador: alimentado por água quente produzida pela caldeira de recuperação
- Evaporador: produtor de água gelada
- Absorvedor: alimentado com a água de refrigeração vinda da torre de refrigeração

Com as seguintes características:

-Potência - 1464 kW de água gelada a 10°C – Caudal 58,36L/s – Temperatura de retorno – 16°C

-COP(Coeficiente de Performance Térmico) – 0,737

-Energia necessária de refrigeração numa torre de refrigeração – 3483,4 kW

-Necessita de 2061 kW de água quente

-Água evaporada – 4,9m³/h

-Evaporador – 3 passagens

-Absorvedor – 1 passagem

-Condensador – 1 passagem

-Gerador – 2 passagens

Os chillers de absorção utilizam uma fonte de calor para gerar um ciclo de refrigeração. O calor necessário provém da queima directa de um combustível, ou é fornecido na forma de vapor de baixa pressão, água quente, energia solar ou através de um processo de purga quente.

Os chillers de absorção são integrados em sistemas de cogeração aproveitando o calor que, de outra forma, poderia ser desperdiçado.

Ter acesso à energia térmica a baixos custos é, normalmente, o factor que dá preferência à instalação de sistemas de absorção.

Algumas das vantagens dos chillers de absorção são:

- ✓ Devido ao funcionamento automático e às poucas partes móveis, os chillers de absorção necessitam de uma menor manutenção do que os chillers de compressão;

- ✓ Os níveis de ruído e vibração são significativamente mais baixos nos chillers de absorção, isto porque são utilizadas pequenas bombas em vez de compressores do refrigerante;
- ✓ Os chillers de absorção são mais benéficos para o ambiente do que os chillers eléctricos, já que não utilizam refrigerantes que prejudicam a camada de ozono.

➤ **Chiller eléctrico de Compressão:**

Composto pelo:

- Condensador: alimentado com a água de refrigeração vinda da torre de refrigeração
- Evaporador: produtor de água gelada
- Compressor
- Válvula redutora de pressão

Com as seguintes características:

- Potência – 2066kW de água fria a 0°C – Caudal 87.5L/s – Temperatura de retorno – 6°C
- Energia necessária de refrigeração numa torre de refrigeração – 2476,5 kW
- Refrigerante – 134 A
- Consumo compressor – 421 kW
- Água evaporada – 3,5m³/h
- Motor compressor – 429 kW – 400 V – 50 Hz
- Intensidade da corrente com circulação máxima – 2025 A
- Intensidade da corrente com circulação mínima – 876 A
- LRA (Locked Rotor Amperage) – 4737
- COP _{100%}=2066kW – 4,905

-COP_{75%}=1549,5kW – 5,456

-COP_{50%}=1033kW – 5,524

-COP_{25%}=516,5kW – 4,377

-Tipo de arranque – arrancador solid state – 3lead

➤ **Torres de refrigeração destinada ao chiller de absorção**

-Potência máxima da torre – 3511 kW

-Fluído – água

-Caudal em circulação – 106L/s

-Temperatura do bolbo húmido: entrada – 23°C

-Temperatura do bolbo húmido: saída – 33°C

-Temperatura entrada da água de refrigeração – 34,2°C

-Temperatura saída da água de refrigeração – 29°C

-Consumo eléctrico – 2*28,2 kW

➤ **Torres de refrigeração destinada ao Chiller eléctrico de compressão**

-Potência máxima – 2466 kW

-Fluído – água

-Caudal em circulação – 117,8L/s

-Caudal máximo – 118,3L/s

-Temperatura do bolbo húmido: entrada – 23°C

- Temperatura do bolbo húmido: saída – 33°C
- Temperatura de entrada da água de refrigeração – 34°C
- Temperatura de saída da água de refrigeração - 29°C
- Consumo eléctrico – 2*20 kW

➤ **Depósito para biodiesel**

O depósito a ser instalado a uma distância máxima de 50 m da central onde será instalado o motor alternativo a biodiesel e dimensionado com uma capacidade para cerca de uma semana de trabalho (24h/dia – 7dias/semana) terá as seguintes características:

- diâmetro corpo cilíndrico – 3950 mm
- altura das virolas cilíndricas – 12500 mm
- tecto cónico – altura – 800 mm
- montagem – vertical
- volume – 200m³

O biodiesel armazenado neste depósito será daí extraído, por um conjunto de bombas centrífugas, protegidas por filtros, e irá alimentar um tanque diário a instalar na central onde se encontra instalado o motor alternativo. O tanque diário será equipado com todos os equipamentos necessários aos bom funcionamento do sistema e será daqui que sairão as tubagens de alimentação e retorno de biodiesel ao motor.

➤ **Sistema de tubagem:** que permite a interligação de fluidos (água quente, água de refrigeração, água gelada, biodiesel) entre:

- Depósito de biodiesel e o motor alternativo

- Motor alternativo, a caldeira de recuperação e o chiller de absorção
- Motor alternativo e arrefecedores do óleo de lubrificação
- Chiller de absorção e a bomba de circulação de água gelada
- Torre de refrigeração e o chiller de absorção
- Caldeira de recuperação e o chiller eléctrico de compressão
- Torre de refrigeração e o chiller eléctrico de compressão
- Chiller eléctrico de compressão e a bomba de circulação de água gelada

Este sistema de tubagens de água quente, água gelada, condutas de gases de combustão, deverá ser devidamente isolado termicamente através do uso de mantas de lã mineral e protegidas por chapa de alumínio.

- **Permutador para refrigeração do óleo do motor:** permite a refrigeração total do motor
- **Quadros eléctricos de controlo, sincronismo e potência:** permitem controlar e indicar o modo de funcionamento do motor alternativo. A interligação eléctrica, do gerador do motor alternativo, termina num transformador elevador instalado no exterior da central mas na sua proximidade.
- **Sistema para tratamento de águas:** necessário para se regularizar a dureza e outras características químicas de acordo com as exigências dos equipamentos onde essa água irá ser utilizada.
- **Chaminé e condutas de exaustão:** serão utilizadas chaminés de evacuação dos gases de combustão da caldeira de recuperação de calor, assim como uma conduta de by-pass à caldeira de recuperação. A chaminé e condutas de exaustão dos gases de combustão, serão isoladas termicamente por mantas de lã mineral e protegidas por chapas de alumínio.

- **Filtros acústicos:** Nas entradas e saídas do ar central, onde será instalado o motor alternativo, serão introduzidos filtros destinados à filtragem do ar que entra na central e que, ao mesmo tempo, atenuem o ruído provocado pelo motor a biodiesel.

- **Silenciador:** Na conduta de exaustão de gases de escape do motor a biodiesel será instalado um silenciador, para atenuação do ruído provocado pelo motor alternativo, aquando uma descarga para a atmosfera.

Capítulo 5 - Conclusão

As fontes renováveis de energia são apresentadas como a principal alternativa para responder à procura da sociedade no que respeita à qualidade, segurança e redução dos danos ambientais.

O trabalho realizado permite afirmar que a energia eólica é uma fonte de energia limpa e barata para a produção de electricidade. Esta apresenta-se como uma solução para responder à dependência de combustíveis fósseis e à redução dos gases de efeito de estufa. Contudo como todas as formas de energias apresenta os seus prós e contras. Para muitos apresenta-se como uma solução aceitável pela sua característica renovável e para outros como uma energia que acarreta inúmeros problemas.

Um dos problemas associados à produção de electricidade em grande escala a partir de energia eólica, correspondente à intermitência do vento causada pela variabilidade e imprevisibilidade das condições climáticas. O desperdício, associado à produção da energia aquando da sua desnecessidade, é também outro dos problemas associados à produção de electricidade a partir desta fonte renovável de energia. Assim, recorrendo a métodos de armazenamento, como a bombagem e o ar comprimido, esta fonte renovável poderia tornar-se numa energia muito mais eficiente na qual a sua intermitência deixaria de ser uma desvantagem tão relevante. No entanto, os custos associados ao armazenamento são muito superiores ao benefício que daí se consegue extrair, deste modo é necessário encontrar soluções nesse sentido, pois dessa forma, a energia eólica pode-se tornar muito mais competitiva e aceitável. Assim, assiste-se a uma divergência de opiniões, continuando esta forma de energia a ser alvo de várias críticas.

O facto da energia eólica se apresentar como uma fonte limpa não deixa dúvida que tem de ser aproveitada. Contudo, não se pode esquecer que existem outras fontes de energia de carácter limpo e gratuito com particularidades muito atraentes como é o caso da Energia Solar.

O potencial de redução de consumos energéticos e custos impulsionam as tecnologias solares como uma das mais vantajosas e atractivas formas de energia renovável. No entanto, actualmente ainda apresentam um investimento inicial um pouco elevado, devido principalmente à pouca disponibilidade de grandes quantidades de materiais semicondutores, e de processos de obtenção, por vezes, muito caros, o que tem representado o maior entrave à aplicação a um maior desenvolvimento destas tecnologias. Contudo, encontram-se disponíveis subsídios e apoios disponíveis para contrabalançar esta realidade.

Outra das formas de reduzir a dependência de combustíveis importados, de diminuir as emissões de CO₂, e de promover a utilização de recursos energéticos locais é através da implementação de sistemas de Cogeração/Trigeração. Qualquer instalação onde haja consumo de potência eléctrica e térmica é candidata a usufruir de um projecto de Cogeração, havendo produção de energia onde ela é requerida e eliminando-se deste modo as perdas no transporte e na distribuição.

Uma vez que a empresa em estudo tem como objectivo tornar-se auto-sustentável e eficiente em termos energéticos, tentou-se com este trabalho integrar estes três sistemas de produção de energia (Energia Eólica, Energia Solar, Cogeração/Trigeração) de modo a diminuir os consumos de energia e consequentemente a factura energética e a dependência dos combustíveis fósseis bem como a emissão de gases de efeito de estufa.

Capítulo 6 - Referências Bibliográficas

- [1] – Jorge A; Gabriel S; Pedro H; “Aspectos Da Calibração De Anemômetros Nos Empreendimentos Eólicos”, CE-EÓLICA - Centro de Energia Eólica (www.pucr.br/ce-eolica) Faculdade de Engenharia - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS
- [2] – Paulo Canhoto. Energia eólica. Disponível em: http://www.parquepeter.org/index.php?q=system/files/eolica_PauloCanhoto_PETER.pdf. Último acesso em Junho de 2010.
- [3] – Selênio Silva. Tópicos em engenharia elétrica: Fundamentos da energia eólica-potencial eólico. 2009.
- [4] – Deutsches Windenergie Institut. Environmental aspects and acceptance of wind energy, in: Eldorado summer school. 1996.
- [5] – Augusto Wanderley. A energia eólica e o meio ambiente - programa de pós-graduação em engenharia elétrica. 2006.
- [6] – João e Armanda Couto. Integração dos projectos eólicos com a envolvente. 2007.
- [7] – American Wind Energy Association. Comparative air emissions of wind and other fuels, 2008. Disponível em <http://www.awea.org/pubs/factsheets/EmissionKB>. PDF. Último acesso em Junho de 2010.
- [8] – Associação portuguesa de energias renováveis. Disponível em <http://www.apren.pt/>. Último acesso em Setembro de 2010.
- [9] – Power Systems Central Research Laboratory. Assessment of generation technology through lifecycle co2 emissions, 2007. Disponível em http://www.hitachi.com/environment/showcase/solution/energy/thermal_power.html. Último acesso em Maio de 2010.
- [10] – Mafalda Antunes. Tecnologia eólica para produção de energia eléctrica. Disponível em http://elepot.dei.uminho.pt/Site_Elepot/simposios/apresentacoes/mafalda.pdf. Último acesso em Maio de 2010.
- [11] – Soren Krohn. Wind Turbines: Upwind or Downwind Machines. <http://www.windpower.org/en/tour/design/updown.ht>. Último acesso em Junho de 2010.
- [12] – R. Gash; J-Twele. Wind power plants: Fundamentals, design, construction and operation. 2002.

- [13] – T. Burton. D. Wind Energy Handbook. John Wiley and Son, LTD, 2001.
- [14] – German Wind Energy Institute. <http://www.dewi.com.br/>. Último acesso em Agosto de 2010.
- [15] – Rui Castro. Energias renováveis e produção descentralizada, introdução à energia eólica. 2003.
- [16] – Cláudio Monteiro. Tecnologia eólica - apontamentos de energia eólica e solar
- [17] – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Energia eólica princípios e aplicações. Disponível em http://paje.fe.usp.br/~mef-pietro/mef2/app.upload/7/_mefmi_003-05.pdf. Último acesso em Maio de 2009.
- [18] – www.worldwindenergyreport.com. Último acesso em Outubro de 2010
- [19] – Aldo Vieira da Rosa, “ Fundamentals of Renewable Energy Processes”, Elsevier Inc., 2005.
- [20] – A.S. Bahaj, L. Myers *, P.A.B. James; “Urban energy generation: Influence of micro-wind turbine output on electricity consumption in buildings”, Energy and Buildings 39 (2007) 154–165.
- [21] – Caroline Faria. Armazenamento da energia elétrica. Disponível em <http://www.infoescola.com/energia/armazenamento-da-energia-eletrica-energia-eolica/>. Último acesso em Julho de 2010.
- [22] – J. A. Peças Lopes. Impacto da integração da geração eólicas nas redes eléctricas. 2007.
- [23] – Hélder Leite. Impacto da pd na rede de distribuição - apontamentos de produção dispersa. 2008.
- [24] – Cláudio Monteiro. Projecto de parques eólicos - apontamentos de energia eólica e solar. 2008.
- [25] – João Tomé Saraiva. Qualidade da onda - característica da onda de tensão e controlo de qualidade. 2003.
- [27] – www.apambiente.pt Último acesso em Outubro de 2010
- [28] – www.vulcano.pt Último acesso em Setembro de 2010
- [29] – Brandão, Sérgio da Silva; *Produção e Planeamento de Energia Eléctrica - Cogeração*, Departamento de Engenharia Electrónica e de Computadores, Universidade de Coimbra, <http://ssbrandao.no.sapo.pt/Cogeracao.pdf>, (2004)

[30] – Roriz, *Sistemas de Cogeração Aplicação em edifícios*, Equipamentos Térmicos, <http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/CogerEdificios.pdf>, (2008)

[31] – Matos, Arlindo; Fundamentos Teóricos de Combustão da disciplina de Conversão de Energia Convencionais do Mestrado de Sistemas Energéticos Sustentáveis, Universidade de Aveiro, (2008)